

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Fisiología de la Semilla en Líneas Experimentales y Variedades Comerciales de Trigo (*Triticum aestivum* L.) para Propósitos de Preacondicionamiento

Por:

**GUADALUPE GAMALIEL REBOSEÑO CATALAN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Fisiología de la Semilla en Líneas Experimentales y Variedades Comerciales de Trigo (*Triticum aestivum* L.) para Propósitos de Preacondicionamiento

Por:

**GUADALUPE GAMALIEL REBOSEÑO CATALAN**

TESIS

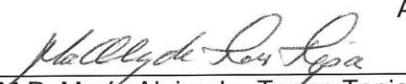
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Asesor Principal

  
M.P. María Alejandra Torres Tapia

Coasesor

  
M.C. Modesto Colín Rico

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2018

## DEDICATORIA

**A Dios.** Por haberme dado la oportunidad de venir al mundo con salud y bienestar, y sobre todo por ubicarme en tan bella familia.

**A mis padres.** No bastan estos renglones para agradecerles todo lo que han hecho por mí, les doy las gracias por haberme hecho el hombre que soy, por haberme guiado por el buen camino y ser unos padres estupendos. A tí madre, por siempre estar conmigo en las buenas y malas, además de empaparme de consejos y cumplir tu papel de madre de una manera adorable y dulce. A tí padre, por ser aquel árbol frondoso que me cubre con sus ramas, mi brazo derecho en todo, que me fortalece en momentos difíciles y me hace feliz, que me llena de consejos, pero sobre todo por apoyarme y confiar en mí.

Los amo.

**A mis abuelos.** Porque todo el tiempo que estuvieron en este mundo siempre me enriquecieron con sus sabias palabras y me llenaron de amor. A tí abuelo, Clemente Reboseño por enseñarme a ser fuerte en la vida y saber que no hay límites en ella, que aunque pase lo que pase siempre hay una salida. A tí abuela, María Ruiz que te fuiste luchando contra mil batallas para verme triunfar, gracias por enseñarme a luchar y vencer todo obstáculo que se me presente, pero sobre todo por confiar en mí.

**A mis hermanos.** A ustedes Zuriel y Julietita porque siempre están conmigo en las buenas y malas, además de ser mis amigos fieles y confidentes, por apoyarme y creer en mí, por empaparme de dulzura y felicidad. Siempre estaremos juntos apoyándonos mutuamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mi “Alma Terra Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

Por darme la oportunidad de estudiar bajo sus brazos, y cambiar mi vida por completo, por regalarme tantas experiencias y oportunidades para desarrollarme como profesionalista.

### **A mis asesores el Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, M.P. María Alejandra Torres Tapia, M.C. Modesto Colín Rico y el Dr. Alejandro Javier Lozano del Río.**

Por su ayuda y colaboración en este trabajo muy significativo para mí.

### **A mi primo Enrique Mejía Onofre**

Por el apoyo incondicional que siempre me has brindado.

### **A mis amigos**

Los Ingenieros: Isaías Salas Alcalá, Juan Ramón Mosqueda, José Jesús Hernández, Eduardo de la Fuente, Bryan de Jesús Ramírez Ortiz, Charlie Acosta Rodríguez y los Licenciados Juan Carlos Ramírez Rodríguez, Francisco Ramírez Rodríguez, José Fabián Benítez Martínez y Cesar Gabriel Ledesma; por brindarme su amistad y compañía en tantas experiencias vividas.

### **A la familia Duran López**

Por la amistad y el apoyo moral que me han brindado, gracias por creer en mí.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Titulo	No. Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
Objetivo General .....	5
Objetivos específicos .....	5
Hipótesis .....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
Clasificación taxonómica .....	6
Calidad de las semillas .....	6
El agua en la germinación .....	9
El proceso de germinación .....	9
Concepto de Imbibición .....	12
Preacondicionamiento en relación con la tasa de imbibición.....	12
Preacondicionamiento en relación con la conductividad eléctrica .....	13
Investigaciones anteriores .....	14
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
Ubicación del sitio experimental .....	15
Material Genético.....	15
Metodología .....	16
Variables evaluadas.....	17
Conductividad eléctrica (CE) .....	17
Tasa de imbibición (TI) .....	18
Capacidad de germinación (CG) .....	19
Plántulas Normales (PN) .....	20
Plántulas anormales (PA) .....	20
Semillas sin germinar (SSG).....	21
Pruebas de Vigor .....	21
Longitud media de plúmula (LMP) .....	21

Longitud media de radícula (LMR).....	22
Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS).....	23
Análisis estadístico .....	23
Regresión y correlación .....	24
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
Calidad física inicial .....	26
Conductividad eléctrica.....	27
Tasa de imbibición.....	39
Capacidad de germinación .....	52
Vigor de la semilla.....	54
Correlaciones.....	56
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

No. de Cuadro	Descripción	No. de Pág.
2.1	Estándares aceptados de acuerdo a cada categoría en la producción de variedades .....	8
3.1	Identificación de los genotipos estudiados .....	16
4.1	Humedad (%), densidad (Kg/hl) y peso (gr) de nueve genotipos de trigo..	26
4.2	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en nueve genotipos de trigo durante 22 horas de imbibición.....	28
4.3	Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de nueve genotipos de trigo durante las primeras 22 horas de imbibición.....	31
4.3	Continuación.....	30
4.4	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición..	32
4.5	Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de seis genotipos de trigo a las 24 y 26 horas de imbibición.....	32
4.6	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en cuatro genotipos de trigo a las 28 horas de imbibición.....	33
4.7	Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de cuatro genotipos De trigo a las 28 horas de imbibición.....	34
4.8	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en dos genotipos de trigo a las 30 horas de imbibición.....	34
4.9	Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de dos genotipos de trigo a las 30 horas de imbibición.....	35
4.10	Funciones de respuesta de la variable Conductividad Eléctrica, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T. Max.) en nueve genotipos de Trigo.....	38
4.11	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en nueve genotipos de trigo durante 22 horas de imbibición.....	40

4.12	Comparación de medias de Tasa de Imbibición de nueve genotipos de trigo durante las primeras 22 horas de inmersión.....	44
2.12	Continuación.....	44
4.13	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición.....	45
4.14	Comparación de medias de Tasa de Imbibición de seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición.....	46
4.15	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en cuatro genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.....	46
4.16	Comparación de medias de Tasa de Imbibición de cuatro genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.....	47
4.17	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en dos genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.....	47
4.18	Comparación de medias de Tasa de Imbibición de dos genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.....	47
4.19	Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T. Max.) en nueve genotipos de Trigo.....	51
4.20	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de Germinación (Plántulas Normales, Plántulas Anormales y Semillas sin Geminar) en semillas de nueve genotipos de trigo.....	52
4.21	Comparación de medias de las variables de Capacidad de Germinación (Plántulas Normales, Plántulas Anormales y Semillas sin Geminar) en semillas de nueve genotipos de trigo con conteo a los siete días.....	53
4.22	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor (Longitud Media de Plúmula, Longitud Media de Radícula y Peso Seco) en semillas de nueve genotipos de trigo.....	54
4.23	Comparación de medias de las variables de Vigor (Longitud Media de Plúmula, Longitud Media de Radícula y Peso Seco) en semillas de nueve genotipos de trigo con conteo a los siete.....	55
4.24	Correlaciones entre variables evaluadas de nueve genotipos de trigo.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

No. de Cuadro	Descripción	No. de Pág.
3.1	Ubicación del Experimento.....	14
3.2	Determinación de Conductividad Eléctrica en nueve genotipos de trigo, marca Mettler Toledo.....	18
3.3	Siembra de semilla sobre cinta de doble pegamento (a); Cubierta de la semilla sembrada (b).....	19
3.4	Colocación de tacos de germinación en bolsas de plástico y cámara de germinación.....	20
3.5	Clasificación de Plántulas Normales (a), Plántulas Anormales (b) y Semillas sin germinar (c).....	21
3.6	Siembra de semillas de trigo sobre papel "Anchor".....	22
3.7	Evaluación de Longitud Media de Radícula.....	23
4.1	Gráfica de comparación de medias de Conductividad Eléctrica de nueve genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.....	36
4.2	Gráfica de comparación de medias de Tasa de Imbibición de nueve genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.....	49

## RESUMEN

Los cambios de clima y degradación del medio ambiente tienden afectar al sector agrícola, problemas como el establecimiento de cultivo por sequía en zonas temporaleras, baja o demora de germinación y emergencia de planta en zonas templadas o de baja temperatura. Existen alternativas técnicas como la selección y mejoramiento de materiales genéticos en el comportamiento germinativo a través de tratamientos pregerminativos en semillas que podría dar lugar a una pronta germinación y rendimiento de plantas en estas condiciones. Se evaluaron siete líneas experimentales generadas por el Programa de Cereales de la UAAAN, comparadas con dos variedades comerciales, para contribuir a las técnicas de preacondicionamiento. Determinando la Tasa de Imbibición (TI) y su correlación con calidad física (Humedad Inicial y Peso Volumétrico) y fisiológica (viabilidad mediante Conductividad Eléctrica (CE), Capacidad de Germinación (CG) y Vigor) bajo condiciones de laboratorio, evaluando hasta obtener el 50% más uno de protrusión radicular y a los siete días después de la siembra; los resultados se analizaron bajo un diseño completamente al azar, resultando diferencias significativas en CE y TI, encontrando diferencias en la mayoría de las lecturas. El análisis de regresión realizado en cada lectura reportó comportamientos cuadráticos en las dos variables. Los puntos máximos de CE fueron entre 13 h 41 min y 6 h 43 min, mientras en TI entre las 14 h 21 min y 5 h 52 min, por otro lado los genotipos AN-91-98 y AN-547-02 lograron su mayor TI en menor tiempo, al menos en 5 h 57 min y 5 h 52 min respectivamente. La existencia de daños en las membranas celulares no permite regular exudados, dando alta TI y baja calidad fisiológica (AN-277-93 y AN-121-02), mientras en Bacanora tuvo mayor TI debido a su alta calidad fisiológica. Destacando, AN-390-02 en la TI, CE y en la calidad fisiológica, sobretodo en el vigor de LMP. Además, de existir una asociación positiva en las variables Peso Inicial y Conductividad Eléctrica entre los genotipos estudiados que se sugiere sea comprobada con más estudios.

**Palabras clave:** *Conductividad eléctrica, Tasa de imbibición, Fisiología de semillas, trigo, preacondicionamiento.*

## I. INTRODUCCIÓN

Se menciona, que el trigo (*Triticum aestivum* L.) es originario en Mesopotamia, específicamente de Siria, Jordania, Turquía e Iraq; es una de los cereales más producidos globalmente, junto con maíz y arroz proporcionan la mayor cantidad de calorías consumidas en los países subdesarrollados y ocupan más de 190 millones de hectáreas, pues resultan importantes para la alimentación humana y animal, influyendo directa e indirectamente en la cadena alimenticia que los humanos pueden tomar (CIMMYT, 2004).

El trigo aporta el 20% de las calorías y proteínas que consume la población mundial. Se estima que 80 millones de agricultores en el mundo en desarrollo dependen de la producción de trigo para obtener su sustento y generar ingresos. Se prevé que para el 2050, la demanda de trigo aumentará un 70% sobre el nivel actual debido al crecimiento de la población y los cambios en sus hábitos alimentarios; sin embargo, los problemas que afectan la producción de este cereal son graves y van en aumento (CIMMYT, 2016).

Es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que unido a su gran consumo, ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo (Plana *et al.*, 2016). Los principales países productores 2017/2018 según la SAGARPA (2017) son China con 131 millones de toneladas, India con 97 millones de toneladas, Rusia con 67 millones de toneladas, Estados Unidos de América con 49.5 millones de toneladas y Canadá con 28.4 millones de toneladas.

En México los cinco principales estados productores de trigo son; Sonora con 1.8 millones de toneladas, Baja California con 579 mil toneladas, Sinaloa con 364 mil toneladas, Guanajuato con 291 mil toneladas y Michoacán con 209 mil toneladas. Dichos estados aportan el 87.1 por ciento de la producción total de trigo, donde Sonora participa con el 49.4 por ciento, Baja California con 15.1 por ciento,

Sinaloa con 9.5 por ciento, Guanajuato con 7.6 por ciento y Michoacán con 5.4 por ciento (SAGARPA, 2017).

En nuestro país, la degradación del medio ambiente y sus cambios están afectando al sector agrícola, puesto que al establecer el cultivo de trigo en zonas temporales existen problemas con sequías, perjudicando el aseguramiento del cultivo en la germinación y emergencia, así mismo en zonas templadas al realizar la siembra del cultivo, por presencia de bajas temperaturas las semillas demoran de igual manera en germinar y emerger. Para mejorar el comportamiento germinativo de especies agrícolas se utiliza tratamientos pre germinativos de las semillas para la revigorización de semillas envejecidas y el aumento de la velocidad en la germinación y rendimiento de las plantas en condiciones óptimas y adversas (Bradford y Nonogaky, 2007).

La formación, dispersión y germinación de semillas, son eventos fundamentales en el ciclo de vida de las plantas gimnospermas y angiospermas. La propagación sexual de las plantas se da por medio de las semillas, las cuales tienen la función de multiplicar y perpetuar la especie (Bradford y Nonogaky 2007).

La ISTA (2003) considera el proceso de germinación de una semilla como el establecimiento de un estado metabólicamente activo, manifestado fisiológicamente por la división celular y por la diferenciación. La primera expresión de este proceso suele ser la emergencia de la radícula.

Durante el proceso de germinación las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidos en compuestos básicos y aminoácidos para suplir el crecimiento y la elongación del embrión (Taiz y Zieger, 2006), iniciando este proceso con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula (Besnier, 1989).

La imbibición es el período durante el cual la semilla absorbe (embebe) agua y se hincha. El agua que rodea a la semilla pasa a través de las envueltas seminales, penetra en su interior y al llegar al embrión, en cantidad suficiente, éste se activa y comienzan los procesos que terminarán en el desarrollo de la planta (De la cuadra, 1993). Durante la imbibición se presentan una lixiviación de sustancias desde la semilla, estas sustancias son principalmente potasio, fosfatos, azúcares y aminoácidos (Schmidt y Tracy, 1998). Tales exudados pueden medirse por conductividad eléctrica (CE) en solución con un conductímetro.

Sin embargo existen pruebas utilizando este parámetro (Wilson, 1992) que se ha propuesto para proveer estimados de germinación y/o vigor de semillas en 24 horas o menos.

En estudios realizados para mejorar la calidad de la semilla con el uso de tratamientos tales como acondicionamiento osmótico, humedecimiento inicial y el uso de biorreguladores, es importante obtener información de las etapas de absorción de agua para diferentes especies (Zambello de Pinho *et al.*, 2004).

Por lo anterior, en el presente trabajo se estudió el comportamiento fisiológico de semillas de siete líneas experimentales generadas por el Programa de Cereales de la UAAAN, las cuales fueron comparadas a dos variedades comerciales, donde la información generada servirá para contribuir en las investigaciones de pre acondicionamiento, con el propósito de acortar los tiempos de emergencia en campo en este cultivo, asegurando un estableciendo efectivo para los productores. Por ello, se plantearon el siguiente objetivo general y específicos:

## **Objetivo General**

Evaluar la fisiología de la semilla de líneas experimentales y variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) para propósitos de preacondicionamiento.

## **Objetivos específicos**

- Comparar la primera fase del proceso de germinación (tasa de imbibición) y su respuesta en la conductividad eléctrica de siete líneas experimentales y dos variedades comerciales de trigo en condiciones de laboratorio.
- Comparar la respuesta de germinación y vigor una vez iniciada la primera fase del proceso de germinación de cinco líneas experimentales y dos variedades comerciales de trigo en condiciones de laboratorio.

## **Hipótesis**

- Al menos una de las líneas experimentales tiene una respuesta diferente y positiva en la primera fase del proceso de germinación (tasa de imbibición) y su respuesta en la conductividad eléctrica en comparación a dos variedades comerciales (Pavón y Bacanora) en condiciones de laboratorio.
- Al menos una de las líneas experimentales tiene una respuesta diferente y positiva en la respuesta de germinación y vigor una vez iniciada la primera fase del proceso de germinación en comparación a dos variedades comerciales (Pavón y Bacanora) en condiciones de laboratorio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Clasificación taxonómica

El trigo se ubica taxonómicamente de la manera siguiente de acuerdo con Robles (1990):

Clase..... Monocotiledóneae.

Orden..... Graminales.

Familia.....Poaceae.

Tribu.....Triticinae.

Género.....Triticum.

Especie.....aestivum.

### Calidad de las semillas

Según el profesor Thomson (1979), la calidad de las semillas puede verse afectada por diversas causas:

1. Pureza físico-botánica. Indica en qué medida una muestra representativa de un Lote de semillas, está formada por semillas intactas y sanas de la especie declarada y/o por eventuales componentes denominados comúnmente “impurezas”. Normalmente, las impurezas suelen estar constituidas por piedras, tierra, semillas fragmentadas, restos de origen vegetal y de forma muy especial, por las denominadas “semillas extrañas”, pertenecientes a una o varias especies y/o cultivares diferentes a la especie principal.
2. Pureza genética. Garantiza que las semillas pertenecen a un único cultivar (variedad comercial), cuyas características genéticas son conocidas y distintas de los demás cultivares registrados, sin que existan mezclas entre ellos.

3. Poder germinativo. Expresa el porcentaje de semillas puras que, bajo condiciones favorables de germinación, son capaces de producir plántulas normales. Indica el potencial máximo del lote que cabe alcanzar como consecuencia de realizar la siembra en condiciones óptimas de todo tipo, pero fundamentalmente de humedad, temperatura y estado sanitario del suelo o del sustrato destinado a la siembra. Es el índice más comúnmente utilizado para estimar la capacidad germinativa de un lote de semillas.
4. Vigor. Pretende dar información acerca de la respuesta y de la homogeneidad que cabe esperar de un lote de semillas cuando se siembra en condiciones que no son favorables-lo que con frecuencia es más habitual- para la germinación y nacencia de las plántulas.
5. Dormición. También se conoce con el nombre de latencia o estado de reposo durante el cual las semillas son incapaces de germinar, aun en contacto con condiciones favorables para hacerlo, especialmente en lo que se refiere a humedad, temperatura, aireación e iluminación.
6. Homogeneidad. Como medida de la uniformidad de todos los componentes del lote que responden a las mismas características, preferentemente morfológicas (peso, forma, tamaño, color, etc.). La falta de homogeneidad de un lote puede acarrear problemas en el momento de la limpieza de la semilla, de la siembra o durante la nacencia lo que normalmente repercute sobre su vigor.
7. Estado fitosanitario. El estado sanitario de las semillas, como vectores o portadores de inóculo. Es de capital importancia a la hora de evitar enfermedades que pueden ocasionar importantes pérdidas en los cultivos, algunas de las cuales pueden afectar fuertemente a las plántulas desde los primeros momentos de su establecimiento.
8. Humedad. Junto a la temperatura, son los factores que más influyen sobre la conservación de las semillas durante el periodo de almacenamiento. Las semillas denominadas ortodoxas, a diferencia de las recalcitrantes, se conservan cuando más bajo es su contenido de humedad.

9. Germinación. El proceso de germinación comprende las etapas de activación del metabolismo, incremento de la respiración, degradación de tejidos de reserva y asimilación, crecimiento del embrión, imbibición, elongación de células y emergencia de la radícula.

Según el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2014) la regla para la calificación de semilla de avena, cebada, centeno, trigo y triticale, establece en particular los criterios y especificaciones de laboratorio, para determinar los estándares de la muestra de trabajo, se hacen análisis que deben ajustarse a los parámetros definidos en el Cuadro 2.1 con el objetivo de que sean aceptados para la certificación.

Cuadro 2.1 Estándares aceptados de acuerdo a cada categoría en la producción de variedades

Factor	Categoría de la semilla			
	Básica	Registrada	Certificada	Habilitada
Semilla pura (mínimo) (%)	99	98	98	95
Materia inerte (máximo) (%)	1	1	1	3
Semillas <sup>a</sup> de otros cultivos (máximo)	0	1 por cada 10 000	1 por cada 5 000	1 por cada 5 000
•Semillas <sup>a</sup> de otras variedades (máximo) a) Cebada, trigo y triticale b) Avena	0 0	1 por cada 1 000 3 por cada 1 000	1 por cada 5 000 1 por cada 200	1 por cada 500 1 por cada 200
Semillas de cultivos inseparables (máximo) <sup>b</sup>	0	0	3 por cada kg	3 por cada kg
Semillas de maleza nociva (máximo) <sup>c</sup>	0	0	0	0
Semillas de maleza común (máximo)	0	0	6 por cada kg	6 por cada kg
Germinación (mínimo) (%)	90	90	90	85
Humedad (máximo) (%)	13	13	13	13

<sup>a</sup> Número máximo de semillas.

<sup>b</sup> Trigo, triticale, cebada y avena, según el cultivo que está en proceso de certificación, por ejemplo, cebada en avena; o trigo en el cultivo de cebada. No se permite la presencia de arroz en el cultivo de avena.

<sup>c</sup> *Avena fatua* (avena silvestre) u otras especies que no se pueden separar del cultivo de interés durante el beneficio.

## **El agua en la germinación**

La absorción de agua es el primer paso, y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que lo rodea. En condiciones normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal; siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico. Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de la misma actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada del oxígeno al embrión (Camacho, 1994).

## **El proceso de germinación**

Sánchez *et al.*, (2006) definen a la germinación, bajo un ensayo de laboratorio, como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables: distinguiéndose germinación epigea (en esta los cotiledones son empujados hacia la superficie del suelo por el alargamiento del hipocotilo), e hipogea (la cual se caracteriza porque los cotiledones permanecen en el suelo, siendo la emergencia, por alargamiento del epicotilo). Para la cuantificación de la germinación, solo se consideran las plántulas que se desarrollan normalmente, conocidas como plantas normales, distinguiéndose de las demás; que bien pueden ser plántulas anormales, semilla muerta o semilla dura.

Moreno (1984) menciona que las pruebas de germinación tienen el objetivo de obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para producir plantas normales, bajo condiciones adecuadas.

Según Hartman y Kester (1999) divide el proceso de germinación en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

1. La imbibición es un proceso que implica la absorción de agua por los coloides de la semilla seca, la cual suaviza la testa de la misma hidratando al protoplasma, esta absorción del agua, depende de:
  - Composición de la semilla: el componente responsable de la imbibición de agua son las proteínas.
  - La permeabilidad de la cubierta de la semilla, la cual es el área por donde entra la humedad de la semilla, aunque también puede ser posible por la testa.
  - La disponibilidad de humedad necesaria para que entre en contacto entre la semilla y el suelo.
  - La temperatura del suelo.
  
2. Activación enzimática: al iniciarse la imbibición, ciertas enzimas empiezan a romper el alimento almacenado (enzimas hidrolíticas como fosfatasa, ribonucleasa, degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas, etc.) a formas solubles y las traslocan a los puntos de crecimiento del embrión.
  
3. Crecimiento del embrión: la primera evidencia del proceso de germinación es la emergencia de la radícula a través de la cubierta de la semilla, posteriormente emerge la plúmula, cada uno continua su crecimiento y desarrollo, la radícula para dar suficiente anclaje a la plántula y habilidad para tomar los nutrientes y agua del medio, la plúmula al emerger sobre la superficie del suelo inicia el proceso de fotosíntesis, la cual ya no depende de sus reservas, iniciando así el proceso de fotosíntesis, absorción de agua y

nutrientes elaborando su propio alimento, con todo este proceso se desarrolla una nueva planta.

Por otro lado Bewley y Black (1983) mencionan que la absorción inicial de agua en la Fase I (llamada imbibición) es una consecuencia de las fuerzas mátricas ( $\Psi_m$ ) de las paredes celulares y los contenidos de las células de la semilla y esta absorción ocurre sin consideración a si una semilla posee latencia o no, es viable o no.

La Fase II es el periodo de retraso de absorción de agua, cuando el potencial mátrico es alto (menos negativo), como es el potencial osmótico o de soluto ( $\Psi_\pi$ ). Semillas muertas y latentes mantienen este nivel de típica hidratación de la fase II, pero al contrario de semillas germinando ellas no entran a la fase III, la cual está asociado con la protrusión de la radícula.

Las longitudes de cada una de estas fases dependen de ciertas propiedades inherentes de las semillas (contenido de substratos hidratables, permeabilidad de la cubierta de las semillas, absorción de oxígeno, tamaño de la semilla, etc) y de las condiciones durante la exposición al agua (por ejemplo, niveles de humedad, composición del substrato, temperatura, etc). Partes diferentes de una semilla, particularmente una semilla grande, pasará a través de estas fases a tasas diferentes.

De igual manera, Evenari (1957) dividió el proceso de germinación en tres fases: A) En la fase I ocurre la imbibición. B) En la fase II se produce la activación del metabolismo, donde ocurre la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, también se incrementan las actividades enzimáticas, así como la degradación inicial de las reservas. C) Finalmente, en la fase III tiene lugar la emergencia de la radícula, concluyendo el proceso germinativo. Cuando aparentemente todas las condiciones anteriores son favorables para la germinación, culmina en la elongación celular, pero

si esto no ocurre o por alguna razón se detiene, se expresa en las semillas como dormancia o latencia (Derek y Black, 1994).

### **Concepto de Imbibición**

La imbibición en las semillas es un proceso fisiológico que inicia con la absorción de agua ocasionando un hinchamiento de estas, aumentando su peso y volumen. Inicialmente este proceso físico (absorción de agua) no depende de la temperatura; sin embargo, una vez que los tejidos embrionarios han sido hidratados, la absorción de agua pasa a ser un proceso fisicoquímico regulado por la temperatura. La imbibición cesa cuando el incremento del peso llega de un 40 % a un 60 % con respecto al peso inicial. La magnitud de la imbibición está determinada por la composición química de las semillas, permeabilidad de las coberturas y disponibilidad de agua en el medio (López, 2005).

### **Preacondicionamiento en relación con la tasa de imbibición**

La imbibición permite que un mayor número de semillas alcance rápidamente el mismo nivel de humedad y active el aparato metabólico relacionado con el proceso pre-germinativo (Burgas y Powell, 1984). Es por ello, que mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2007).

Existe una gran variedad de trabajos relacionados con pruebas de Imbibición donde se han probado soluciones de aceites vegetales, químicos e inclusive agua para mejorar la germinación de las semillas o remediar la longevidad de estas. Estos procedimientos activan reacciones metabólicas pregerminativas, que aceleran la germinación, la autorreparación enzimática de las membranas celulares y numerosos

mecanismos bioquímicos-fisiológicos de tolerancia al estrés ambiental (Mc Donald, 1999 citado por Montejo *et al.*, 2002).

Mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2016).

### **Preacondicionamiento en relación con la conductividad eléctrica**

Se ha encontrado que el aumento en la conductividad se correlaciona con la disminución de la germinación y el vigor de la semilla en varias especies de cultivos (Tajbakhsh., 2000); por otro lado Zamora *et al.*, (2015) menciona que existe una alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica, cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra.

Powell (1988), consideró que la integridad de las membranas celulares determinada por los cambios bioquímicos deteriorativos y la capacidad para reorganizar y reparar los daños, sería la causa fundamental de las diferencias en el vigor de la semilla, que son las medidas en forma indirecta a través de la lixiviación de electrolitos durante la prueba de conductividad eléctrica.

Si una tasa de imbibición ocurre antes de alcanzar la máxima tasa de conductividad eléctrica, puede deberse probablemente a la falta de habilidad para reorganizar completa y rápidamente las membranas celulares durante el inicio de la imbibición (Tajbakhsh, 2000). Esta prueba presenta la ventaja de rapidez, objetividad, bajo costo y poseer base teórica consistente, siendo capaz de identificar el deterioro de las semillas en su estado inicial (AOSA, 1983; Hampton y Tekrony, 1995).

La prueba de conductividad eléctrica evalúa indirectamente el grado de estructuración de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición. Los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares. Las semillas se sumergen en un determinado volumen de agua, bajo temperatura controlada durante un periodo de tiempo determinado. Como consecuencia de una menor estructura y selectividad de las membranas celulares, las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados (Filho *et al.*, 1987).

### **Investigaciones anteriores**

Ramírez (2016) realizó una investigación similar, donde estudió la Tasa de Imbibición y su relación con la Fisiología de las Semillas en Siete Genotipos de Trigo (*Triticum aestivum*), donde concluye que la conductividad eléctrica tiene una relación con la calidad o vigor de los genotipos que estudió, debido a que a menor valor de conductividad eléctrica, se obtuvo una mayor longitud media de plúmula, mayor longitud media de radícula y peso seco. Adicionalmente detectó que los valores máximos de conductividad eléctrica se pueden presentar antes de evaluar las tasas máximas de imbibición, permitiendo determinar el valor de una de ellas en razón de la otra en diferentes tiempos; de no cumplirse lo anterior puede deberse a la falta de habilidad de las membranas, muy similar a lo que Trujillo (2016) concluyó al realizar un trabajo donde evaluó la tasa de imbibición y conductividad eléctrica en semilla de cinco genotipos de cebada forrajera y de grano, donde menciona que por la alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó en el laboratorio de Producción de semillas, de Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; cuyas coordenadas son 25.354603 Latitud Norte y -101.031962 Longitud Oeste con una altitud de 1,742 msnm.



Figura 3.1 Ubicación del Experimento

#### Material Genético

Los genotipos estudiados fueron siete líneas experimentales creadas por el Programa de Cereales de Grano Pequeño del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, las cuales fueron producidas en la localidad de Zaragoza, Coahuila en el ciclo O-I 2016-2017 y dos variedades comerciales Pavón y Bacanora; en el Cuadro 3.1 siguiente se describen los genotipos:

Cuadro 3.1 Identificación de los genotipos estudiados

Identificación	Genotipo/Clave
1	PAVÓN
2	BACANORA
3	AN-390-02
4	AN-277-93
5	AN-277-02
6	AN-547-02
7	AN-240-93
8	AN-121-02
9	AN-91-98

### Metodología

El presente trabajo se llevó a cabo en tres etapas:

**Primera etapa.** Evaluación de calidad física inicial y conteo de los materiales genéticos.

Se determinó el contenido de humedad (%) y peso volumétrico (Kg/Hl) tomando cuatro repeticiones por cada material genético utilizando un determinador marca GAC 2000, luego se contaron 100 semillas por repetición por material, se pesaron en una balanza analítica de 0.0001 gr de precisión y registró el peso inicial (gr).

**Segunda etapa.** Evaluación de la conductividad eléctrica y determinación de la tasa de imbibición, se determinó en cuatro repeticiones por cada genotipo.

Se colocaron 100 semillas de cada repetición en vasos de precipitado de 100 ml, agregando 100 ml de agua des-ionizada por vaso, considerando como inicio el tiempo 0 (cero).

Al cabo de dos horas, se evaluó la conductividad eléctrica en  $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ , el volumen de agua absorbido y el peso adquirido de la semilla de cada repetición, una vez evaluada la semilla se volvió a llevar la semilla a la condición inicial utilizando el agua restante (los mililitros sobrantes de los 100 ml iniciales); este proceso se repitió cada dos horas hasta obtener 50% más uno de semilla con protrusión radicular, registrando los datos de volumen absorbido, peso adquirido y conductividad eléctrica.

**Tercera etapa.** Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas, mediante la prueba de capacidad de germinación y vigor, teniendo dos repeticiones de cada repetición por genotipo.

Una vez iniciada la primera fase del proceso de germinación (tasa de imbibición), se determinó el porcentaje de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG); así como el vigor de la semilla mediante Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS).

## **Variables evaluadas**

### **Conductividad eléctrica (CE)**

Para obtener la conductividad eléctrica, se utilizó el agua residual de cada repetición-genotipo de cada lectura hasta que los genotipos alcanzaron el 50 % más uno de semillas con protrusión radicular, utilizando un conductímetro Mettler Toledo, el cual se calibró con agua des-ionizada antes de realizar la determinación, registrando los datos expresados en  $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ .

Cabe mencionar que al momento de realizar la lectura, el electrodo debe ubicarse en la parte media y central del vaso de precipitado, como se muestra en la Figura 3.2, esto para evitar la alteración de datos al momento de hacer contacto con el material o las paredes del vaso.

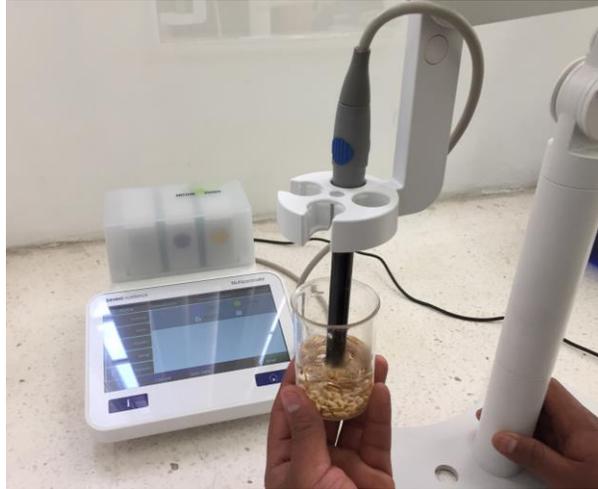


Figura 3.2 Determinación de Conductividad Eléctrica en nueve genotipos de trigo, Marca Mettler Toledo.

### **Tasa de imbibición (TI)**

Se determinó considerando el peso inicial de la semilla de cada repetición y material genético en una balanza analítica de 0.0001 g de precisión marca AND; una vez imbibida por un tiempo de dos horas se decantó el agua de cada repetición en una probeta graduada y se midió el volumen de agua residual en mililitros. Posteriormente, se realizó el secado de la semilla con ayuda de una toalla absorbente (solo a quitar el exceso de agua adherida a ella).

Luego, se determinó el peso adquirido de la semilla nuevamente pesando en la balanza analítica y registrando en gramos. Después de registrarlos datos se retornó el agua y la semilla al vaso de precipitado; este procedimiento se llevó a cabo cada dos horas, hasta alcanzar el 50 % más 1 de semilla con protrusión radicular.

Obtenidos los datos de pesos iniciales, contenido de humedad iniciales de las repeticiones de cada material y los pesos adquiridos en cada una de las lecturas; se calculó la tasa de imbibición (TI); aplicando la ecuación de Weibull (Domínguez *et al.*, 2007):

$$\text{Tasa de imbibición} = \frac{W_f - W_i}{W_i \left(1 - \frac{HI}{100}\right)}$$

Dónde:

Wf= Peso adquirido. Wi= Peso inicial. Hi= Contenido de humedad inicial de la semilla.

### Capacidad de germinación (CG)

Realizada la fase de imbibición, se procedió a la prueba de capacidad de germinación considerando el fundamento de la prueba germinación según la ISTA (2010), llevando a las semillas de cada repetición-genotipo con o sin protrusión radicular a sembrar sobre papel "Anchor" de 38 X 25.6 cm humedecido con agua des ionizada, realizando dos repeticiones de 25 semillas por repetición de cada genotipo, colocando la semilla con el embrión hacia abajo sobre una línea central en el papel (Figura 3.3a), cubriendo con otro papel humedecido y posteriormente se enrollaron a formar un "taco"(Figura 3.3b).

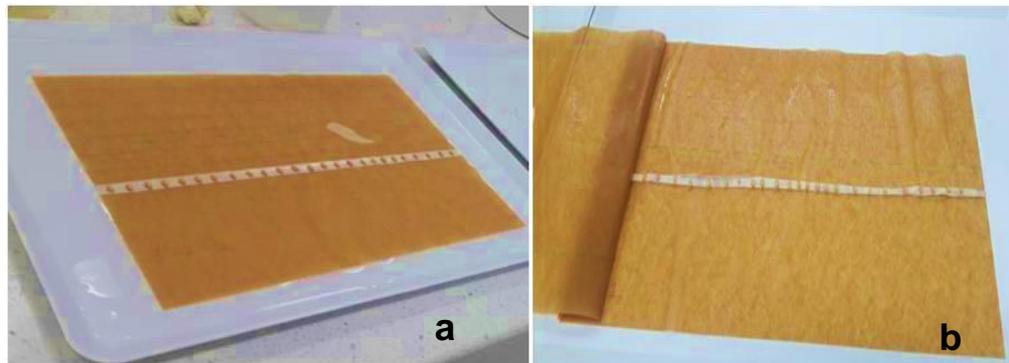


Figura 3.3 Siembra de semilla sobre cinta de doble pegamento (a); Cubierta de la semilla sembrada (b).

Finalmente, los tacos se colocaron aleatoriamente en vertical en bolsas de plástico llevadas a una cámara de germinación marca Lumistell<sup>MR</sup> a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C a 8 horas luz y 16 horas oscuridad durante siete días (Figura 3.4), para su posterior evaluación.



Figura 3.4 Colocación de tacos de germinación en bolsas de plástico y cámara de germinación.

Una vez transcurridos los siete días en la cámara de germinación, se evaluaron las Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas sin Germinar (SSG), según la AOSA (1992).

### **Plántulas Normales (PN)**

Se consideraron plántulas normales, aquellas que desarrollaron bien la primera hoja y detectado el coleóptilo lleno, con un tamaño de tres veces el tamaño de la semilla tanto de la plúmula como la radícula (Figura 3.5a), Registrando los datos en porcentaje.

### **Plántulas anormales (PA)**

Se consideraron, todas aquellas plántulas con raíces muy cortas, inferiores a tres veces el tamaño de la semilla, atrofiadas, débiles o filiformes, con carencia de

raíz primaria y plántulas con epicótilo corto, grueso en forma de S ó deformes (Figura 3.5b), registrando los datos en porcentaje.

### **Semillas sin germinar (SSG)**

Fueron todas las semillas sin desarrollar raíz y plúmula (Figura 3.5c). Esto debido a diferentes factores de la misma semilla tanto de latencia e inviabilidad, como de reducción o poder nulo germinativo, ennegrecimiento total o parcial de las semillas y alteración de sus características nutritivas provocadas por hongos, los cuales se notaron en algunos genotipos evaluados, no causando daños mayores.

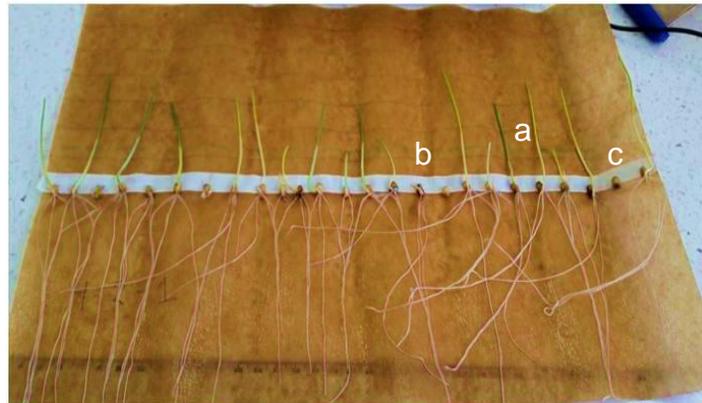


Figura 3.5 Clasificación de Plántulas Normales (a), Plántulas Anormales (b) y Semillas sin germinar (c).

### **Pruebas de Vigor**

#### **Longitud media de plúmula (LMP)**

Las semillas de cada repetición-genotipo con o sin protrusión radicular dadas después de la prueba de imbibición, se sembraron sobre papel “Anchor” de 38 X 25.6 cm humedecido con agua des ionizada, realizando dos repeticiones de 25 semillas por repetición de cada genotipo, colocando las semillas sobre la línea central del papel de germinación, mismo donde se trazaron líneas paralelas cada dos centímetros, utilizando la metodología descrita por Perry (1977), y como se muestra

en la Figura 3.6 y cubriendo con otro papel humedecido y posteriormente se enrollaron a formar un “taco”, como se realizó en la prueba de germinación. Poniendo nuevamente de manera aleatoria y en vertical en bolsas de plástico y llevadas a una cámara de germinación marca Lumistell<sup>MR</sup> a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C a 8 horas luz y 16 horas oscuridad durante siete días (Figura 3.4), para su posterior evaluación.



Figura 3.6 Siembra de semillas de trigo sobre papel “Anchor”

Después de los siete días de incubación, se identificaron (según ISTA, 1992) y cuantificaron las plántulas normales encontradas en cada paralela correspondiente.

### **Longitud media de radícula (LMR)**

Para la determinación de esta variable, se consideraron las plántulas normales resultantes de la prueba anterior, evaluando diez plántulas al azar de cada repetición por genotipo, midiendo con una regla graduada en centímetros la longitud de la radícula más larga de la plántula como se muestra en la Figura 3.7 y finalmente calculando el promedio de cada repetición-genotipo.



Figura 3.7 Evaluación de Longitud Media de Radícula

### **Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS)**

En esta variable, se utilizaron las plántulas normales resultantes de la prueba de germinación, descartando los restos de semilla y colocando únicamente las plántulas normales (plúmula y radícula) por cada repetición-genotipo en bolsas de papel estraza perforadas, llevándolas a una estufa de secado marca Felisa<sup>R</sup> por 24 horas a 65 °C, una vez transcurrido el tiempo, se dejó enfriar el material a temperatura ambiente por 15 min y se procedió a pesar en una balanza analítica marca AND de 0.0001 g precisión, considerando  $P1 = \text{Peso de la bolsa} + \text{plántulas secas}$ ;  $P2 = \text{Peso de la bolsa}$  y se calculó el  $P3 = \text{Peso de las plántulas secas}$  mediante la diferencia del  $P1 - P2$ , finalmente se realizaron los cálculos para registrar los resultados de la variable en mg/plántula.

### **Análisis estadístico**

Los resultados recabados se concentraron en el programa Microsoft Excel, posteriormente se analizaron estadísticamente en el programa SAS versión 9.0 (2009); en las variables de Conductividad Eléctrica y Tasa de imbibición se utilizó el análisis completamente al azar para cada lectura realizada, conforme algunos genotipos alcanzaban la etapa de protrusión de la radícula en un 50% más uno de la semilla usada, se eliminaban de los análisis de varianza.

Las variables de capacidad de germinación y vigor se analizaron también mediante un completamente al azar bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ = La observación de la unidad experimental.

$\mu$ = Efecto de la media general del experimento.

$\tau_i$ = Efecto del tratamiento.

$e_{ij}$ = Valor aleatorio, error experimental de la u. $e_{ij}$

Los resultados de los análisis donde se encontraron diferencias significativas, se realizaron pruebas de medias mediante la DMS al 0.05 de probabilidad; seguido por un análisis de correlación para conocer la asociación de cada genotipo en la variable de tasa de imbibición.

### **Regresión y correlación**

Para el caso del análisis de regresión se utilizó el paquete estadístico JMP versión 5.01, obteniendo la ecuación correspondiente en las variables de Conductividad Eléctrica y Tasa de imbibición, posteriormente una vez confirmada la respuesta cuadrática, se obtuvo la segunda derivada de la función de regresión de cada uno de los genotipos, con el objetivo de conocer el valor máximo de las tasas de las variables mencionadas en horas, esto de acuerdo con Purcell *et al.*, (2007).

Alvares (2007), menciona en su libro que la regresión lineal es una técnica estadística que analiza los valores de una variable a la que se le domina dependiente, puede predecirse mediante un modelo lineal, conociendo los valores de otras variables, a las que se dominan independientes. Estas relaciones pueden determinarse bajo la siguiente ecuación:

$$Y = a + bx$$

Y= Valor calculado

a= Ordenada al origen

b= Pendiente

x= Variable independiente

Cuando el coeficiente de determinación es bajo (<70%) o el análisis de varianza de la regresión resulta no significativo, se procede a cambiar de modelo buscando una respuesta a una potencia superior (cuadrática, cúbica, etc), deteniendo el proceso cuando se obtiene significancia en el análisis de regresión, se cuenta con un adecuado coeficiente de determinación o cuando la prueba de falta de ajuste así lo indica.

Posteriormente se realizó un análisis de correlación para todas las combinaciones por pares de variables estudiadas con el fin de detectar su posible asociación entre ellas y con la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica por medio de la formula:

$$r^2 = \frac{\sum xy - \left[ \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \right]^2}{\left[ \sum x^2 - \frac{(Ex)^2}{n} \right] * \left[ \sum y^2 - \frac{(Ey)^2}{n} \right]}$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad física inicial

En el Cuadro 4.1 se muestran los resultados de los parámetros iniciales para la realización del experimento, exponiendo los pesos volumétricos, humedades iniciales y pesos iniciales. Midiendo con estos parámetros la pureza física inicial, mismos que se utilizaron para determinar posteriormente la Tasa de Imbibición.

En cuanto a calidad física inicial resalta el genotipo 6 (AN-547-02) con la mayor humedad inicial y densidad, con valores de 11.15% y 78 Kg/Hl respectivamente, sin embargo fue el genotipo que inició el experimento con menor peso (2.91 gr).

Por otro lado el genotipo 4 (AN-277-93) inició el experimento con la menor humedad y densidad, obteniendo valores de 10.03% y 70.47 Kg/ Hl, respectivamente.

Se aprecia en el Cuadro 4.1, que los porcentajes de humedad que los genotipos tenían al inicio del experimento fueron por de bajo de lo que está establecido para las semillas en sus distintas categorías, pues se indica que el porcentaje de humedad en las semillas de cereales de grano pequeño debe ser de máximo 13% para su certificación (SNICS, 2014).

Cuadro 4.1 Humedad (%), densidad (Kg/hl) y peso (gr) de nueve genotipos de trigo

	<b>Genotipo</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Densidad (Kg/hl)</b>	<b>Peso (gr)</b>
1	PAVÓN	10.95	74.98	3.36
2	BACANORA	10.70	75.62	3.91
3	AN-390-02	10.93	75.33	4.26
4	AN-277-93	10.03	70.47	3.50
5	AN-277-02	10.83	75.46	3.88
6	AN-547-02	11.15	78.06	2.91
7	AN-240-93	10.43	74.36	3.16
8	AN-121-02	10.43	74.33	3.66
9	AN-91-98	10.70	75.01	4.85

## Conductividad eléctrica

Para esta variable se presentan los resultados para cada uno de los tiempos evaluados con el fin de conocer si desde el inicio de la imbibición se presentaron diferencias en su conductividad eléctrica, ya que por su tipo de semilla y composición se esperaba que algunos genotipos exhibieran mayor conductividad eléctrica que otros y de igual forma expresen valores de esta variable y tiempos distintos para finalizar el proceso de imbibición; así en las primeras 11 evaluaciones todos los genotipos estudiados se evaluaron y en adelante permanecieron solo algunos de ellos que no habían finalizado su imbibición, como se expone enseguida.

En la Cuadro 4.2 se muestran los resultados de los análisis de varianza ordenados horizontalmente hasta las 22 horas, donde participaron los nueve genotipos estudiados, mostrando la existencia de diferencias altamente significativas entre los genotipos en todos los intervalos de tiempo en la variable de conductividad eléctrica (CE), sugiriendo que los genotipos tuvieron diferentes valores de exudación de aniones y cationes, lo cual puede usarse como un indicador de vigor de acuerdo con Powell (1988).

Por otra parte estos resultados logran tener un comportamiento muy similar al de los siete genotipos de trigo estudiados por Ramírez (2016), hasta las 18 horas de evaluación, donde encontró un comportamiento completamente diferente entre los materiales. Así mismo, los resultados encontrados en trigo fueron similares a los de Trujillo (2016) en genotipos de cebada, dando diferencias altamente significativas entre los genotipos en la variable, en una totalidad de 32 horas.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en nueve genotipos de trigo durante 22 horas de imbibición.

FV	GL	Tiempo (horas)										
		2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	20 h	22 h
<b>Genotipos</b>	8	43,25**	154,88**	209,85**	279,91**	335,43**	389,91**	428,08**	496,13**	569,64**	618,82**	675,00**
<b>Error</b>	27	3,18	3,53	5,10	5,54	7,00	9,06	10,3	12,25	14,19	14,00	16,42
<b>Total</b>	35											

(\*\*) Altamente significativo, P: 0.01

La respuesta de la prueba de comparación de medias (DMS al 0.05 de probabilidad) cuyos resultados aparecen en el Cuadro 4.3, mostró dos grupos en la primer evaluación (a las dos horas), donde los genotipos 2, 3, 1 y 4 formaron el primer grupo de significancia (A), mientras que los genotipos 7, 5, 6, 9 y 8 formaron el segundo grupo (B), evidenciando la mayor conductividad eléctrica en los genotipos del grupo A, exudando mayor cantidad de electrolitos en la solución, lo que pudiera representar una evidencia de deterioro de los genotipos y daría una desventaja al momento de su establecimiento comparados con el grupo B, de acuerdo con lo reportado por Tajbakhsh (2000), quien menciona que el aumento en la conductividad se correlaciona con la disminución de la germinación y el vigor de la semilla en varias especies de cultivos.

Referente a la comparación de medias de las 4 horas, los genotipos mencionados formaron el primer grupo de significancia en el orden 3, 5 y 9, seguidos por los genotipos 1 y 2 en un segundo grupo de significancia. A partir de las seis horas, estos mismos genotipos (3, 5 y 9) siguieron conformando el primer grupo, pero con un ordenamiento diferente, así, a las 6 horas el genotipo 9 se ubicó en primer lugar, seguido por los genotipos 3 y 5. Los genotipos 4, 1 y 2 formaron el segundo grupo de significancia y al final se ubicó el genotipo 6.

Referente a la comparación de medias de las 4 horas, los genotipos mencionados formaron el primer grupo de significancia en el orden 3, 5 y 9, seguidos por los genotipos 1 y 2 en un segundo grupo de significancia.

A partir de las seis horas, estos mismos genotipos (3, 5 y 9) siguieron conformando el primer grupo, pero con un ordenamiento diferente, así, a las 6 horas el genotipo 9 se ubicó en primer lugar, seguido por los genotipos 3 y 5. Los genotipos 4, 1 y 2 formaron el segundo grupo de significancia y al final se ubicó el genotipo 6.

En la cuarta, quinta y sexta lectura, a las ocho, diez y doce horas de inmersión respectivamente, los genotipos 9, 3 y 5 hicieron parte del primer grupo de

significancia (A), mientras que los genotipos 2, 4 y 1 formaron el segundo grupo (B), por otro lado el tercer grupo (C) se compuso por los genotipos 8 y 7, finalmente en el grupo D se ubicó únicamente el genotipo 6.

Posteriormente a las 14 horas de inmersión siendo la séptima toma de datos, terminó la semejanza que existió en la cuarta, quinta y sexta lectura en cuanto a las posiciones de las medias de los genotipos, pues en el primer grupo de significancia se colocaron los genotipos 9, 3 y 5, pero en esta ocasión el genotipo 5 también hizo parte del grupo B junto al genotipo 2, que este a su vez compuso el grupo C seguido por los genotipos 4 y 1, mientras los genotipos 8 y 7 formaron el grupo D, por último el genotipo 6 se ubicó finalmente en el grupo E.

Una vez tomada la octava lectura (a las 16 horas) el genotipo 5 salió del primer grupo de significancia (A), tomando lugar en el segundo grupo (B) junto con los genotipos 2 y 4, de tal manera que el primer grupo (A) siguió la tendencia con los genotipos 3 y 9, pero en esta ocasión el genotipo 3 se ubico numéricamente superior al genotipo 9, en esta posición hasta las 22 horas.

Cuadro 4.3 Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de nueve genotipos de trigo durante las primeras 22 horas de imbibición.

Tiempo (horas)														
2 h			4 h			6 h			8 h			10 h		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
2	14.300	A	3	51.625	A	9	60.650	A	9	68.775	A	9	75.675	A
3	13.050	A	5	50.700	A	3	59.425	A	3	67.550	A	3	75.000	A
1	12.425	A	9	50.575	A	5	59.400	A	5	66.225	A	5	72.150	A
4	11.975	A	1	47.200	B	4	53.175	B	2	61.425	B	2	67.500	B
7	8.150	B	2	45.875	B C	1	53.075	B	4	60.900	B	4	66.800	B
5	8.050	B	4	44.325	C D	2	53.000	B	1	59.400	B	1	64.850	B
6	6.325	B	8	42.450	D E	8	48.750	C	8	54.150	C	8	58.600	C
9	6.275	B	7	39.725	E	7	46.500	C	7	51.900	C	7	57.175	C
8	6.050	B	6	32.275	F	6	38.125	D	6	43.000	D	6	47.850	D

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Continuación de cuadro 4.3

Tiempo (horas)																	
12 h			14 h			16 h			18 h			20 h			22 h		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
9	81.325	A	9	86.100	A	3	91.550	A	3	96.350	A	3	100.600	A	3	105.200	A
3	81.000	A	3	86.100	A	9	90.850	A	9	95.750	A	9	99.325	A	9	103.025	A
5	77.325	A	5	81.500	A B	5	85.150	B	5	88.225	B	5	91.325	B	5	93.400	B
2	72.800	B	2	76.975	B C	2	81.575	B C	2	85.725	B	2	89.800	B	2	92.050	B
4	71.825	B	4	76.600	C	4	80.850	B C	4	84.475	B C	4	87.925	B C	4	91.000	B C
1	69.600	B	1	73.225	C	1	76.775	C	1	79.475	C	1	82.875	C	1	85.975	C
8	62.025	C	8	65.500	D	7	67.675	D	7	70.875	D	7	73.800	D	7	76.100	D
7	61.000	C	7	64.650	D	8	67.600	D	8	69.675	D	8	72.275	D	8	74.650	D
6	52.250	D	6	55.800	E	6	59.150	E	6	61.825	E	6	64.350	E	6	66.750	E

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el transcurso de las 22 a las 24 horas de inmersión, los genotipos 5, 6 y 7 iniciaron emergencia de radícula, indicando la finalización de esta etapa, razón por la cual quedaron en evaluación solo el resto de los genotipos (6) que aún no la finalizaban.

En el Cuadro 4.4 se muestran los resultados de los análisis de varianza de las lecturas a las 24 y 26 horas de inmersión. Donde solo se encontraron diferencias altamente significativas a las 24 horas, pues a las 26 horas, no se detectaron diferencias significativas.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición.

FV	GL	Tiempo (horas)	
		24 h	26 h
<b>Genotipos</b>	5	556,94**	613,90 <sup>NS</sup>
<b>Error</b>	18	27,23	26,39
<b>Total</b>	23		

(\*\*) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01

Los resultados de la comparación de medias se muestran en el Cuadro 4.5, evidenciando que los genotipos 3 y 9, siguieron ubicándose en el primer grupo de significancia (A) tal como lo hicieron desde la octava lectura (a las 16 h). Cabe mencionar que el genotipo 8 (AN-121-02) en ambas lecturas, se ubicó en el último grupo de significancia.

Cuadro 4.5 Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de seis genotipos de trigo a las 24 y 26 horas de imbibición.

G	Tiempo (horas)					
	24 h			26 h		
	Media	Grupo	G	Media	Grupo	
3	107.900	A	3	110.950	A	
9	106.350	A	9	107.975	A	
2	94.675	B	2	97.525	B	
4	94.250	B	4	97.100	B	
1	89.075	B	1	91.175	B	
8	75.875	C	8	76.550	C	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el transcurso de las 26 a las 28 horas, dos genotipos más presentaron emergencia de radícula, por tal motivo quedaron en evaluación los materiales 1, 2, 3, y 4. Este hecho resulta interesante dado que fueron estos mismos genotipos quienes a las dos horas de imbibición presentaron los mayores valores iniciales de CE, y de acuerdo con lo reportado por Tajbakhsh (2000) indicaría que estos genotipos presentan baja calidad de semilla relacionado a su vez con el posible daño en sus membranas celulares.

En seguida en el Cuadro 4.6 se muestran los resultados de la toma de datos a las 28 horas, donde se ilustra que existieron diferencias altamente significativas entre los genotipos en ese tiempo.

Cuadro 4.6 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en cuatro genotipos de trigo a las 28 horas de imbibición.

	<b>Tiempo (horas)</b>	
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>28 h</b>
<b>Genotipos</b>	3	338,80**
<b>Error</b>	12	25,97
<b>Total</b>	15	

(\*\*) Altamente significativo, P: 0.01

La prueba de medias (Cuadro 4.7) reportó que se formaron dos grupos de significancia, mostrando nuevamente al genotipo 3 (AN-390-02) como el de mayor CE formando un único grupo (A), seguido por los genotipos 2, 4 y 1 formando un segundo y último grupo (B), donde los genotipos 2 y 1 corresponden a las variedades comerciales Bacanora y Pavón, respectivamente..

Cuadro 4.7 Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de cuatro genotipos de trigo a las 28 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>28 h</b>		
<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
3	115.350	A
2	100.675	B
4	100.450	B
1	93.475	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Una vez terminadas las lecturas, antes de llegar a las 30 horas de inmersión, los genotipos 1 y 2 (variedades comerciales) mostraron la protrusión de la radícula y abandonaron el experimento, por tal motivo solo quedaron en evaluación los materiales 3 y 4.

En el siguiente Cuadro 4.8 se muestran los resultados del ANVA en ese tiempo, donde resultaron diferencias altamente significativas entre los dos genotipos para su CE.

Cuadro 4.8 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Conductividad Eléctrica en dos genotipos de trigo a las 30 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>30 h</b>
<b>Genotipos</b>	1	460,56**
<b>Error</b>	6	22,50
<b>Total</b>	7	

(\*\*) Altamente significativo, P: 0.01

La prueba de medias, (Cuadro 4.9), mostró al genotipo 3 como el de mayor CE, seguido por el genotipo 4, ambos en grupos distintos.

Cuadro 4.9 Comparación de medias de Conductividad Eléctrica de dos genotipos de trigo a las 30 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>30 h</b>		
<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
3	119.600	A
4	104.425	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Figura 4.1 se presentan las tendencias de la CE de los genotipos a través del tiempo, iniciando las lecturas a las dos horas de inmersión, donde al inicio del experimento, el genotipo 2 (testigo Bacanora) presentó la mayor conductividad eléctrica correspondiendo a un 9.09% de lecturas sobresalientes, posteriormente a las cuatro horas el genotipo 3 (AN-390-02) logró superar a dicho testigo y junto con el genotipo 9 (AN-91-98) mantuvieron la mayor CE hasta llegar al final del experimento. Resaltando que estos dos genotipos obtuvieron un 45.45% de lecturas en primer lugar, las cuales para el caso del genotipo 9 (AN-91-98): fueron a las 6, 8, 10 12 y 14 horas; por parte del genotipo 3 (AN-390-02) a las 4, 16, 18, 20 y 22 h. coincidiendo con Filho *et al.* (1987) al mencionar que el aumento de la conductividad eléctrica en el caso estos genotipos distinguidos, se puede deber a la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición provenientes de las membranas celulares; Dado a que lo dicho por Powell (1988) la integridad de éstas determina los cambios bioquímicos deteriorativos y la capacidad para reorganizar y reparar daños.

Por otro lado el genotipo 8 (AN-121-02) tomó numéricamente el último lugar en la primera lectura (a las 2 horas), posteriormente mostró un comportamiento similar al genotipo 7 (AN-240-93), Cabe mencionar que el genotipo 6 (AN-547-02) a partir de la segunda lectura (a las 4 horas), se ubicó en el último grupo de significancia hasta las 22 horas de evaluación y como se aprecia en la Figura 4.1 fue el genotipo con menor CE. Las tres líneas aquí mencionadas se caracterizaron por obtener los valores más bajos en esta variable.

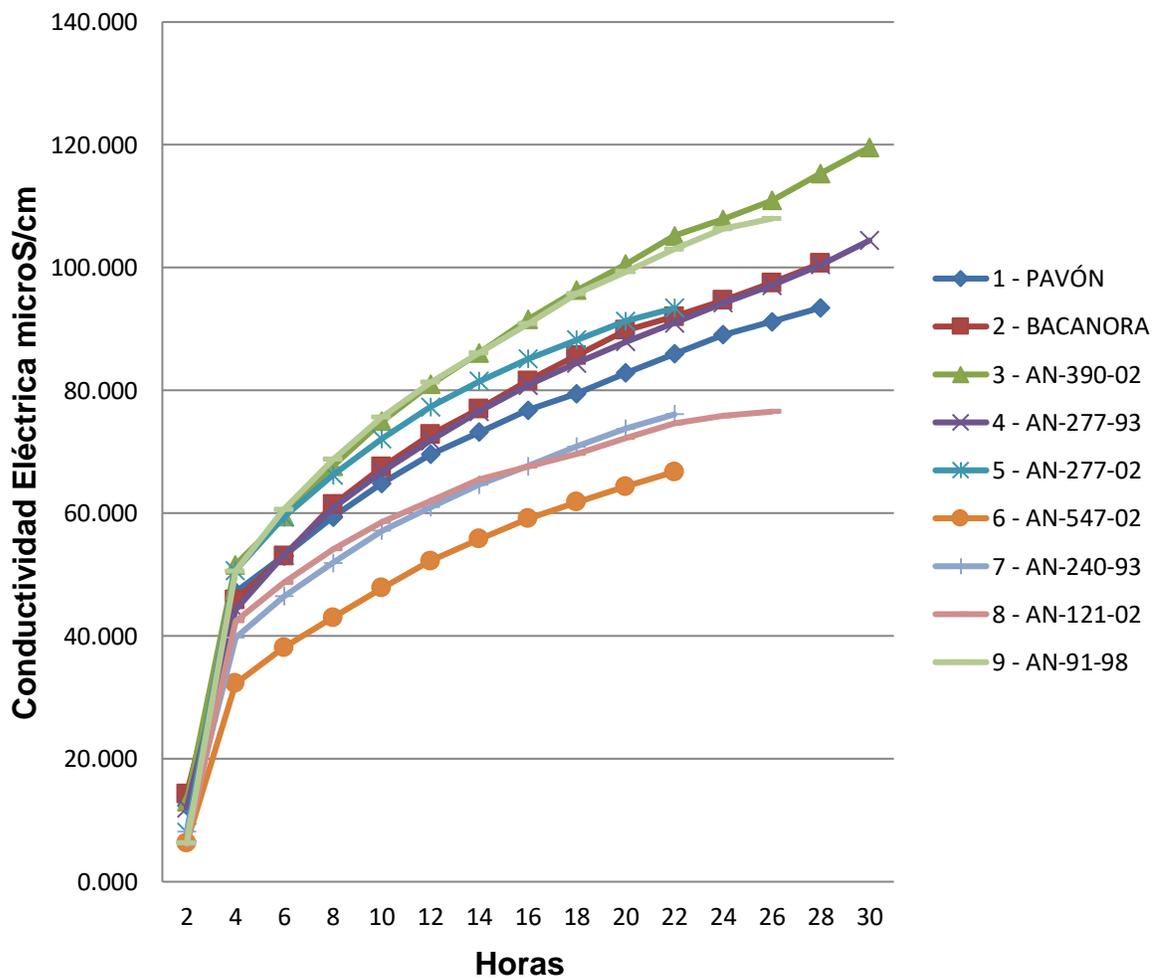


Figura 4.1 Gráfica de comparación de medias de Conductividad Eléctrica de nueve genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.

Al realizar el análisis de regresión para cada genotipo a través de su correspondiente tiempo de imbibición (Cuadro 4.10), se obtuvo su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y función de respuesta, mostrando los genotipos un comportamiento cuadrático en su respuesta. Una vez determinado el tipo de respuesta y dado que ésta fue exponencial, se procedió, mediante el método de la segunda derivada, a detectar la existencia o ausencia de un máximo (Purcell *et al.*, 2007). Así, en el Cuadro 4.10 se observan las funciones de respuesta de la variable CE, así como sus coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta en los nueve genotipos estudiados.

Los tiempos en que los genotipos estudiados alcanzaron su máxima conductividad eléctrica, fluctuaron entre las 13 horas con 41 minutos y 6 horas con 43 minutos, siendo los genotipos 3 (AN-390-02) y 5 (AN-277-02) respectivamente, quienes mostraron dichos valores. Con respecto a los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) se obtuvieron de al menos 0.89 en adelante, donde al multiplicarlos por 100 encontramos la mayoría de porcentajes arriba de 90% hasta 95% en cuanto la explicación de la variable Conductividad eléctrica con base en el tiempo, resultando una excelente explicación del comportamiento de los genotipos en esta variable.

Los genotipos 3 (AN-390-02) y 9 (AN-91-98) continuaron destacando en cuanto a la mayor conductividad eléctrica basándose en sus funciones de respuesta, pues en comparación con los demás, estos dos mostraron los mayores interceptos con 45.392 y 43.294 respectivamente, que junto con el valor su coeficiente de regresión o pendiente con valores mayores de 3 les permitió mostrar la mayor CE.

Cuadro 4.10 Funciones de respuesta de la variable Conductividad Eléctrica, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T.Max.) en nueve genotipos de Trigo.

	<b>Genotipo</b>	<b>Respuesta conductividad eléctrica</b>	<b>R2</b>	<b>T. Max.</b>	
1	PAVÓN	$41.299 + 2.385 (x) - 0.110 x^2$	$R^2 = 0.928$	10.10	10 h 6 min
2	BACANORA	$41.266 + 2.676 (x) - 0.116 x^2$	$R^2 = 0.957$	11.53	11 h 31 min
3	AN-390-02	$45.392 + 3.013 (x) - 0.110 x^2$	$R^2 = 0.953$	13.69	13 h 41 min
4	AN-277-93	$41.098 + 2.589 (x) - 0.100 x^2$	$R^2 = 0.950$	12.94	12 h 56 min
5	AN-277-02	$40.649 + 3.286 (x) - 0.244 x^2$	$R^2 = 0.914$	6.73	6 h 43 min
6	AN-547-02	$24.159 + 2.463 (x) - 0.143 x^2$	$R^2 = 0.946$	8.61	8 h 36 min
7	AN-240-93	$31.008 + 2.674 (x) - 0.174 x^2$	$R^2 = 0.927$	7.68	7 h 40 min
8	AN-121-02	$37.753 + 2.132 (x) - 0.144 x^2$	$R^2 = 0.891$	7.40	7 h 24 min
9	AN-91-98	$43.294 + 3.296 (x) - 0.179 x^2$	$R^2 = 0.930$	9.20	9 h 12 min

Mención aparte merece el genotipo 6, que inicia lentamente (con un intercepto bajo) y un coeficiente de regresión de 2.463 que le permitió mostrar la menor CE (Figura 4.6). En atención a los reportes de que valores de alta CE pueden estar relacionados con daños en las membranas celulares y estos a su vez con la calidad de la semilla, en una segunda etapa de esta investigación se realizaron las pruebas de germinación que se presentan más adelante.

## **Tasa de imbibición**

Al igual que en la variable anterior, se muestran los resultados de los análisis de varianza ordenados horizontalmente por intervalos de dos horas (Cuadro 4.11) para la variable tasa de imbibición. Similarmente, hasta las 22 h se evaluaron todos los genotipos, posteriormente solo se evaluaron los genotipos que aún no iniciaban la protrusión de radícula. Los análisis de varianza revelaron la existencia de diferencias altamente significativas entre genotipos, solo en las lecturas de las 2, 4, 12, 16, y 20 h. reportó además la existencia de diferencias significativas a las 14 y 22 h, no encontrando diferencias significativas entre los genotipos evaluados en las lecturas 6, 8, 10 y 18 h, esto sugiere que probablemente entre las 6 y 10 h de imbibición, los genotipos mostraron una tasa de imbibición similar, cuyo comportamiento se repitió a las 18 horas.

Cuadro 4.11 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en nueve genotipos de trigo durante 22 horas de imbibición.

	<b>Tiempo (horas)</b>											
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>2 h</b>	<b>4 h</b>	<b>6 h</b>	<b>8 h</b>	<b>10 h</b>	<b>12 h</b>	<b>14 h</b>	<b>16 h</b>	<b>18 h</b>	<b>20 h</b>	<b>22 h</b>
<b>Genotipos</b>	8	106,76**	116,89**	22,82 <sup>NS</sup>	44,40 <sup>NS</sup>	31,82 <sup>NS</sup>	125,75**	49,35*	94,55**	67,33 <sup>NS</sup>	89,36**	101,03*
<b>Error</b>	27	25,54	28,33	16,43	28,74	15,02	13,96	20,72	28,44	40,98	22,49	31,15
<b>Total</b>	35											

(\*) Significativo, (\*\*) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01

Los resultados de las pruebas de medias (DMS al 0.05 de probabilidad), se concentran en el Cuadro 4.12, donde se muestra que en la primer lectura (a las dos horas) el primer grupo estadístico (A) se formó por los genotipos 7, 5, 6, 1 y 8, donde estos cuatro últimos genotipos mencionados también formaron parte del segundo grupo estadístico (B) junto con el genotipo 2, este a su vez integró el tercer grupo estadístico (C) tras el genotipo 8 y seguidos por los genotipos 3 y 4. Finalmente los genotipos 2, 3, 4 y 9 formaron parte del último grupo de significancia (D) al mostrar la menor tasa de imbibición.

En la segunda lectura, (a las 4 horas) se formaron nuevamente cuatro grupos estadísticos, donde el primero (A) fue formado por los genotipos 7, 6, 2 y 5, de tal modo que estos tres últimos también hicieron parte del segundo grupo estadístico (B) además de los genotipos 4 y 8. De tal modo que nuevamente los genotipos 2, 5, 4, 8 y 9 hicieron parte del tercer grupo (C), al mismo tiempo los últimos dos genotipos formaron el último grupo (D).

A las 6 horas de imbibición solo se formaron dos grupos estadísticos, el primero (A) fue integrado por los genotipos 6, 2, 7, 1, 3, 4, 8 y 9, enseguida los últimos cuatro genotipos formaron el segundo grupo estadístico junto con el genotipo 5. Se resalta aquí la bondad de realizar las pruebas de medias a pesar de que el análisis de varianza no haya detectado diferencias significativas que una prueba de medias como la DMS si detectó.

Posteriormente a las ocho horas de igual manera se formaron dos grupos estadísticos, el primero se integró por los genotipos 7, 6, 8, 5, 3 y 4, donde los últimos cuatro genotipos también hicieron parte del segundo grupo estadístico junto a los genotipos 9, 1 y 2.

En las siguientes diez horas, los genotipos 6, 4, 9 y 7, se ubicaron en el primer grupo (A), ya que los últimos 3 genotipos también formaron parte del segundo grupo de significancia (B) seguidos por los genotipos 5, 2, 1 y 8. De la misma manera los genotipos 9, 7, 5, 2, 1, 8 y 3 constituyeron el tercer grupo (C).

A las doce horas de imbibición, se formaron tres grupos estadísticos, el primero (A) se integró por los genotipos 4, 7, 6 y 5, a su vez los últimos dos genotipos hicieron parte del segundo grupo de significancia (B) seguidos por el genotipo 8, que este mismo a su vez, perteneció al tercer grupo (C) con el genotipo 9, posteriormente el tercer grupo fue formado por los genotipos 9, 1, 3 y 2.

Por otra parte a las 14 horas de inmersión, los genotipos 7, 3, 4, 6, 1, 5 y 2, formaron el primer grupo (A), mientras que los últimos cinco genotipos seguidos por el genotipo 9 integraron el segundo grupo estadístico (B). En seguida se creó un último tercer grupo (C), donde se ubicaron los genotipos 9 y 8.

Posteriormente a las 16 horas los genotipos 7 y 6 fundaron el primer grupo estadístico (A), mientras que este último genotipo de igual manera formó un segundo grupo de significancia junto con los genotipos 5 y 2, al mismo tiempo estos dos genotipos formaron un tercer grupo junto a los genotipos 9, 8, 4, 3 y 1.

En seguida a las 18 horas, los genotipos 4, 7, 6, 8, 1, 5 y 9 integraron el primer grupo de significancia (A), al mismo tiempo los genotipos 6, 8, 1, 5 y 9 junto con el genotipo 2 formaron un segundo grupo (B), así como los genotipos 8, 1, 5, 9, 2 y 3 se ubicaron en un tercer grupo (C).

Una vez dadas las 20 horas de imbibición, se formaron cuatro grupos de significancia, ya que los genotipos 7, 6, 8 y 5, lograron ubicarse en el primer grupo (A), mientras los últimos tres genotipos, seguidos por los genotipos 4 y 1 se situaron en un segundo grupo de significancia (B), en seguida se formó un tercer grupo (C) con los últimos dos genotipos mencionados al final seguidos por los genotipos 2, 3 y 9. Posteriormente los genotipos 1, 2, 3 y 9 formaron el último grupo (D).

Llegadas las 22 horas de imbibición, el genotipo 4 sobresalió formando un único grupo de significancia (A), mientras los genotipos 8, 1, 9, 7, 6, 3 y 2 integraron un segundo grupo (B), así mismo los genotipos 1, 9, 7, 6, 3, 2 y 5 se ubicaron en el último grupo (C).

Los genotipos con Tasa de Imbibición más baja fueron: el 3 (AN-390-02) ocupando el último lugar en varias lecturas, de forma similar se comportaron los genotipos 9 (AN-91-98), 5 (AN-277-02) y 2 (Bacanora); ya que resultaron con la media más baja dos veces cada uno.

Vale la pena resaltar el comportamiento del genotipo 7 (AN-240-93), que por su tasa de Imbibición durante las primeras 22 horas en inmersión, se ubicó un 54.54% de las veces con un mayor promedio. En segundo lugar destacó el genotipo 4 (AN-277-93), con 27.27%.

Cuadro 4.12 Comparación de medias de Tasa de Imbibición de nueve genotipos de trigo durante las primeras 22 horas de inmersión.

Tiempo (horas)														
2 h			4 h			6 h			8 h			10 h		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
7	33.337	A	7	40.574	A	6	36.059	A	7	43.175	A	6	46.434	A
5	30.411	A B	6	34.489	A B	2	35.924	A	6	43.146	A	4	42.966	A B
6	30.268	A B	2	34.102	A B C	7	35.906	A	8	38.256	A	9	42.129	A B C
1	28.411	A B	5	33.354	A B C	1	35.638	A	5	37.499	A B	7	41.352	A B C
8	27.024	A B C	4	32.117	B C	3	34.710	A B	3	37.072	A B	5	40.609	B C
2	24.450	B C D	8	31.240	B C D	4	33.492	A B	4	36.137	A B	2	39.093	B C
3	20.719	C D	9	26.675	C D	8	32.578	A B	9	35.107	B	1	38.720	B C
4	19.735	C D	1	24.310	D	9	31.013	A B	1	34.785	B	8	38.653	B C
9	19.245	D	3	23.903	D	5	29.549	B	2	34.419	B	3	37.158	C

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

Continuación del Cuadro 4.12

Tiempo (horas)																	
12 h			14 h			16 h			18 h			20 h			22 h		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
4	55.167	A	7	54.959	A	7	60.287	A	4	54.853	A	7	60.812	A	4	62.062	A
7	54.042	A	3	54.504	A	6	58.024	A B	7	54.833	A	6	56.957	A B	8	51.763	B
6	51.221	A B	4	53.101	A B	5	52.126	B C	6	54.109	A B	8	56.920	A B	1	50.377	B C
5	50.126	A B	6	52.804	A B	2	51.164	B C	8	52.385	A B C	5	54.946	A B C	9	50.132	B C
8	48.575	B C	1	52.086	A B	9	50.189	C	1	51.931	A B C	4	53.128	B C	7	49.350	B C
9	43.760	C D	5	51.548	A B	8	48.485	C	5	49.828	A B C	1	51.466	B C D	6	49.091	B C
1	42.206	D	2	51.183	A B	4	48.448	C	9	46.732	A B C	2	49.822	C D	3	48.293	B C
3	41.865	D	9	47.857	B C	3	47.569	C	2	45.024	B C	3	48.690	C D	2	47.982	B C
2	40.132	D	8	43.749	C	1	45.712	C	3	44.697	C	9	45.782	D	5	43.243	C

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes

En el transcurso de las 22 a las 24 horas de inmersión, los genotipos 5, 6 y 7 iniciaron protrusión radicular, por lo cual ya no continuaron en el experimento, quedando solo en evaluación el resto de los genotipos.

El Cuadro 4.13 muestra los resultados de los análisis de varianza referentes a las lecturas de las 24 y 26 h de inmersión, donde se muestra la existencia de diferencias altamente significativas solo a las 24 horas, ya que en la lectura de las 26 horas no hubo diferencias significativas entre las conductividades eléctricas de los genotipos durante ese tiempo de inmersión.

Cuadro 4.13 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición.

FV	GL	Tiempo (horas)	
		24 h	26 h
<b>Genotipos</b>	5	102,48**	59,99 <sup>NS</sup>
<b>Error</b>	18	10,06	21,75
<b>Total</b>	23		

(\*\*) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01

Posterior al análisis de varianza se procedió a realizar la comparación de medias de los genotipos, los resultados se muestran en el Cuadro 4.14, donde se aprecia que a las 24 h de inmersión, se formaron dos grupos de significancia, en el grupo A se ubicaron los genotipos 4, 1, 3 y 2; siendo este último el mejor, correspondiente a la variedad Bacanora. Los genotipos 9 y 8, se comportaron con más baja tasa de imbibición.

En el caso de la lectura referente a las 26 horas, el análisis de varianza mostró que no existió ninguna diferencia significativa entre los genotipos, pero la comparación de medias mostró el genotipo 4 como el más sobresaliente en la tasa de imbibición, mientras el genotipo 9 se mostro en último lugar dentro del segundo grupo de significancia conformado.

Cuadro 4.14 Comparación de medias de Tasa de Imbibición de seis genotipos de trigo durante 24 y 26 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>					
<b>24 h</b>			<b>26 h</b>		
<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>	<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
2	54.984	A	4	60.149	A
4	54.186	A	8	55.568	A B
1	52.100	A	2	55.299	A B
3	51.025	A	3	52.493	B
9	44.506	B	1	50.759	B
8	42.921	B	9	49.498	B

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

En el transcurso de las 26 a las 28 horas, cuatro genotipos más presentaron emergencia de radícula, por tal motivo no se incluyeron en la evaluación siguiente.

En el Cuadro 4.15 se muestran los resultados del análisis de varianza de las 28 horas, donde existieron diferencias significativas entre los genotipos.

Cuadro 4.15 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en cuatro genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>28 h</b>
<b>Genotipos</b>	3	109.12*
<b>Error</b>	12	24,34
<b>Total</b>	15	

(\*) Significativo, P: 0.05

La prueba de medias (Cuadro 4.16) ubicó al genotipo 4 (AN-277-93) como el de mayor promedio en el primer grupo de significancia, los genotipos 3, 1 y 2, se ubicaron en un segundo grupo de significancia.

Cuadro 4.16 Comparación de medias de Tasa de Imbibición de cuatro genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>28 h</b>		
<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
4	61.722	A
3	52.186	B
1	52.006	B
2	50.133	B

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

En la evaluación de las 30 horas de imbibición, solo fueron evaluados los genotipos 3 y 4, no encontrándose diferencias significativas entre ellas (Cuadro 4.17).

Cuadro 4.17 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición en dos genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>30 h</b>
<b>Genotipos</b>	1	143,25 <sup>NS</sup>
<b>Error</b>	6	86,88
<b>Total</b>	7	

(NS) No significativo, P: 0.05

La prueba de medias tampoco encontró diferencias (Cuadro 4.18), posicionando primero al genotipo 4 (AN-277-93) seguido por el 3 (AN-390-02).

Cuadro 4.18 Comparación de medias de Tasa de Imbibición de dos genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.

<b>Tiempo (horas)</b>		
<b>30 h</b>		
<b>G</b>	<b>Media</b>	<b>Grupo</b>
4	67.394	A
3	58.930	A

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

En la Figura 4.2 puede apreciarse que el genotipo con tasa de imbibición más alta fue el genotipo 4 (AN-277-93) seguido por los genotipos 7 (AN-240-93) y 6 (AN-547-02), este acto resulta atractivo, pues es de esperarse que alguno de estos genotipos distinga en cuanto a capacidad de germinación y vigor, ya que mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2007).

Mientras que los genotipos 5 (AN-277-02), 9 (AN-91-98) y 3 AN-390-02 presentaron una tasa de imbibición más baja, sin embargo los genotipo 9 y 3 resultaron los más altos en la prueba de la conductividad eléctrica, pudiendo encontrar una correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica, pudiendo usarse como indicador una de otra (Zamora *et al.*, 2015)

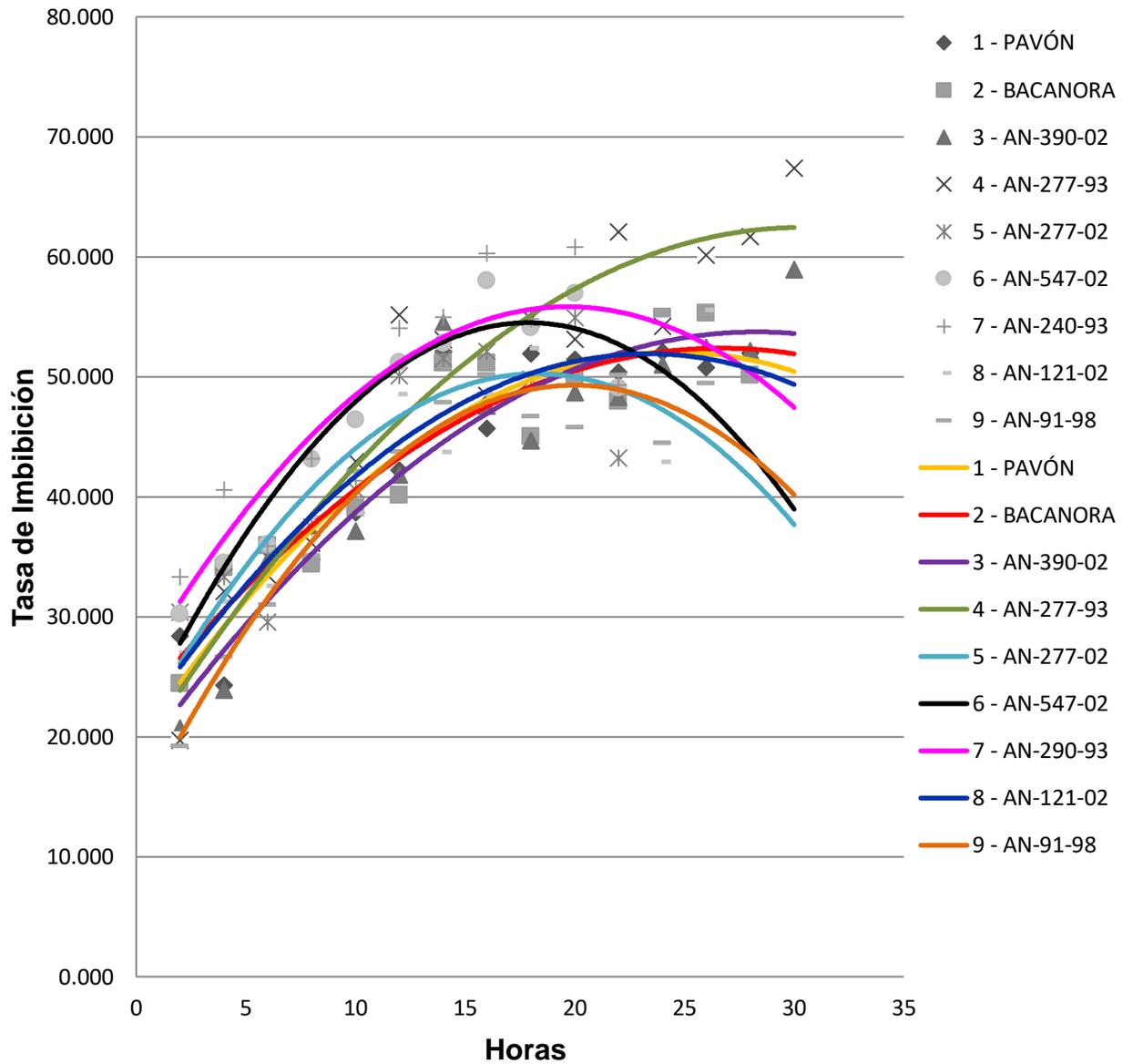


Figura 4.2 Gráfica de comparación de medias de Tasa de Imbibición de nueve genotipos de trigo durante 30 horas de imbibición.

Al realizar los análisis de regresión para la tasa de imbibición de cada genotipo, se encontró (Cuadro 4.19), al igual que en la variable conductividad eléctrica, una respuesta cuadrática.

De igual forma, se procedió mediante el método de la segunda derivada a detectar la existencia o ausencia de un máximo (Purcell *et al.*, 2007). Así en el Cuadro 4.19 se observan las funciones de respuesta de la variable tasa de imbibición (TI), así como sus coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta en los nueve genotipos estudiados.

Se aprecia en dicho cuadro que los puntos máximos de la variable Tasa de Imbibición oscilaron entre las 14 horas con 21 minutos y 5 horas con 52 minutos, presentados por los genotipos AN-277-93 y AN-547-02 respectivamente, destacando el comportamiento del genotipo AN-91-98, que obtuvo su punto máximo de tasa de imbibición a las 5 horas con 57 minutos.

Por otra parte los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) oscilaron entre 78 y 95%, dando confiabilidad las relaciones detectadas, pues aporta una buena explicación de la Tasa de Imbibición con base en el tiempo de imbibición

Importante mencionar que con base en la pendiente de la ecuación de respuesta, el genotipo 4 (AN-277-93) fue el material que mayor respuesta obtuvo en cuanto a la tasa de imbibición con un valor de 1.378 (confirmando lo señalado en la Figura 4.2), sin embargo fue el genotipo que más tardó en alcanzar esa máxima imbibición con 14 horas 21 minutos.

Por el contrario los genotipos 6 (AN-547-02), 9 (AN-91-98) y 5 (AN-277-02) mostraron mayor velocidad para alcanzar su máxima tasa de imbibición, pues obtuvieron tiempos de 5 h con 52 min, 5 h con 57 min y 6 h con 16 min respectivamente.

Cuadro 4.19 Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T. Max.) en nueve genotipos de Trigo.

	<b>Genotipo</b>	<b>Respuesta Tasa de imbibición</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>T. Max.</b>	
1	PAVÓN	$31.617 + 1.035 (t) - 0.054 t^2$	$R^2 = 0.91$	9.58	9 h 34 min
2	BACANORA	$31.728 + 0.991 (t) - 0.042 t^2$	$R^2 = 0.88$	11.79	11 h 47 min
3	AN-390-02	$29.257 + 1.106 (t) - 0.045 t^2$	$R^2 = 0.88$	12.28	12 h 16 min
4	AN-277-93	$30.519 + 1.378 (t) - 0.048 t^2$	$R^2 = 0.91$	14.35	14 h 21 min
5	AN-277-02	$32.951 + 1.143 (t) - 0.091 t^2$	$R^2 = 0.80$	6.28	6 h 16 min
6	AN-547-02	$35.877 + 1.247 (t) - 0.106 t^2$	$R^2 = 0.93$	5.88	5 h 52 min
7	AN-240-93	$36.716 + 1.207 (t) - 0.079 t^2$	$R^2 = 0.78$	7.63	7 h 37 min
8	AN-121-02	$31.920 + 1.071 (t) - 0.057 t^2$	$R^2 = 0.84$	9.39	9 h 23 min
9	AN-91-98	$30.868 + 1.085 (t) - 0.091 t^2$	$R^2 = 0.95$	5.96	5 h 57 min

Al considerar la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica, tres de los genotipos estudiados presentaron su máxima tasa de imbibición antes de alcanzar su punto máximo de conductividad eléctrica, particularmente en los genotipos 2 (Bacanora (variedad comercial)), 4 (AN-277-93) y 8 (AN-121-02), posiblemente a lo mencionado por Tajbakhsh (2000) que si una tasa de imbibición ocurre antes de alcanzar la máxima tasa de conductividad eléctrica, puede deberse probablemente a la falta de habilidad para reorganizar completa y rápidamente las membranas celulares durante el inicio de la imbibición.

## Capacidad de germinación

En el Cuadro 4.20, se observan los resultados de los análisis de varianza y su nivel de significancia de las variables evaluadas que se consideran para calificar la capacidad de germinación, donde se muestra que en el caso de la variable Plántulas Normales y semillas sin germinar hubo diferencias altamente significativas entre los genotipos, en tanto que en la variable Plántulas Anormales, no se detectaron diferencias significativas.

Cuadro 4.20 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de Germinación (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG)) en semillas de nueve genotipos de trigo.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>PN</b>	<b>PA</b>	<b>SSG</b>
<b>Genotipos</b>	8	80,36**	17,25NS	44,03**
<b>Error</b>	27	23,63	18,74	4,81
<b>Total</b>	35			

(\*\*) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01

Posteriormente se elaboraron pruebas de medias para detectar diferencias entre genotipos, en los resultados mostrados en el Cuadro 4.21, se observa que en la variable Plántulas Normales se formaron cuatro grupos de significancia, con los genotipos 1, 7, 5, 2, 9 y 3 que se ubicaron en el grupo A, mientras que los genotipos 6, 8 y 4 formaron el grupo D, cuyas medias se ubicaron por debajo del 85%. Al respecto la ley de semillas considera un porcentaje mínimo de 85% para semilla habilitada, mientras que para semilla básica, registrada y certificada un 90% (SNICS. 2014).

Para la variable Plántulas Anormales en el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas y la prueba de medias confirmó dichos resultados pues todos los genotipos compartieron el mismo grupo de significancia. Los genotipos 3 (AN-390-02) y 9 (AN-91-98), se ubicaron numéricamente en primer

y segundo lugar en esta variable, y también resultaron sobresalientes en su conductividad eléctrica, pudiendo relacionar lo mencionado por Tajbakhsh (2000), con la posible ocurrencia de anomalías en la plántula.

Por otra parte en Semillas Sin Germinar el genotipo 4 se ubicó como único integrante del primer grupo de significancia (A), seguido por el grupo B compuesto por los genotipos 8, 6 y 2, mientras que los genotipos 7, 9, 5, 3 y 1 se ubicaron en el último grupo de significancia (grupo E).

Cuadro 4.21 Comparación de medias de las variables de Capacidad de Germinación (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG)) en semillas de nueve genotipos de trigo con conteo a los siete días.

PN			PA			SSG		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
1	91.500	A	3	12.000	A	4	11.500	A
7	89.500	A B	9	11.500	A	8	7.500	B
5	88.500	A B	8	11.500	A	6	7.000	B C
2	88.000	A B C	4	11.000	A	2	4.500	B C D
9	86.000	A B C	6	10.500	A	7	4.000	C D E
3	85.500	A B C	5	9.000	A	9	2.500	D E
6	82.500	B C D	1	7.500	A	5	2.500	D E
8	81.000	C D	2	7.500	A	3	2.500	D E
4	77.500	D	7	6.500	A	1	1.000	E

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

## Vigor de la semilla

En el Cuadro 4.22 se observan los resultados de los análisis de varianza de las variables que indican el vigor de la semilla, donde se muestran diferencias altamente significativas entre los genotipos para todas ellas (Longitud Media de Plúmula, Longitud Media de Radícula y Peso Seco).

Cuadro 4.22 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor (Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS)) en semillas de nueve genotipos de trigo.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>LMP</b>	<b>LMR</b>	<b>PS</b>
<b>Genotipos</b>	8	1,34**	1,86**	4,53**
<b>Error</b>	27	0,07	0,45	0,39
<b>Total</b>	35			

(\*\*) Altamente significativo, P: 0.01

La comparación de medias (Cuadro 4.23) para la variable Longitud de Plúmula formó cuatro grupos de significancia, con el genotipo 3, ubicado como único integrante del primer grupo. El genotipo 9 se ubicó en el último grupo de significancia.

En la variable Longitud Media de Radícula se formaron cuatro grupos de significancia, el primero compuesto por los genotipos 7, 4, 5, 3 y 6, mostrando los mayores valores. Las medias más bajas de esta variable las mostraron los genotipos 8, 2, 9 y 1.

Finalmente para la variable Peso Seco, el primer grupo de cuatro que se obtuvieron, estuvo formado por los genotipos 5, 9, 1 y 3, mientras el último grupo se formó con los genotipos 4 y 6.

En este mismo Cuadro 4.23, puede observarse el comportamiento del genotipo 9 (AN-91-98) que obtuvo bajos valores en cuanto a Longitud Media de Plúmula y Radícula, por lo que se deduce que este genotipo resulta bajo en vigor. Este hecho resulta importante ya que este mismo genotipo (AN-91-98) junto al

genotipo 3 (AN-390-02) resultaron altos en la prueba de la conductividad eléctrica, concordando nuevamente lo dicho por Tajbakhsh (2000) al mencionar que el aumento en la conductividad se correlaciona con la disminución de la germinación y el vigor de la semilla en varias especies de cultivos. Sin embargo el genotipo 9 (AN-91-98) destacó alto en cuanto al indicador Peso Seco, proponiendo que las plúmulas y radículas que este genotipo logró desarrollar, fueron significativamente pesadas.

En cuanto al genotipo 3 (AN-390-02) logró posicionarse como alto en cuanto a Longitud Media de Plúmula y promedio en Longitud Media de Radícula y Peso Seco, dado que las plúmulas que este genotipo logro desarrollar fueron relativamente largas pero delgadas, pudiendo calificarse como de buen vigor a pesar de mostrar el mayor número de plántulas anormales, aunque no fue diferente estadísticamente (Cuadro 4.21).

El comportamiento del genotipo 7 (AN-240-93), es interesante ya que logró obtener buenas posiciones en las pruebas de medias de los indicadores de capacidad de germinación y vigor, pues logra observarse (Cuadro 4.23) que fue el segundo genotipo que desarrolló más Plántulas Normales, y por otro lado menos Plántulas Anormales, posicionándose intermedio en cuanto a Peso Seco.

Cuadro 4.23 Comparación de medias de las variables de Vigor (Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS)) en semillas de nueve genotipos de trigo con conteo a los siete.

LMP			LMR			PS		
G	Media	Grupo	G	Media	Grupo	G	Media	Grupo
3	7.5667	A	7	14.6513	A	5	13.1633	A
6	7.1646	B	4	14.4863	A B	9	13.0286	A
1	6.9954	B	5	14.4488	A B	1	12.7076	A
2	6.5437	C	3	14.3238	A B C	3	12.2988	A B
7	6.5311	C	6	13.7788	A B C D	2	11.5747	B C
4	6.3858	C	8	13.6388	B C D E	7	11.5734	B C
8	6.2591	C	2	13.4713	C D E	8	11.3804	C
5	6.2380	C	9	13.0713	D E	4	10.6591	C D
9	5.6144	D	1	12.7125	E	6	10.0543	D

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

## Correlaciones

En el Cuadro 4.24 aparecen las correlaciones entre pares de variables y resaltan por su significancia al 0.05 de probabilidad, la relación entre la variable Plántulas Normales y Plántulas Anormales obtuvo un valor de  $r=-0.72$ , mientras tanto entre Plántulas Normales y Semillas Sin Germinar se obtuvo un valor de  $r=-0.90$ , interpretándose que a mayor número de plántulas normales corresponde un menor número de plantas anormales y semillas sin germinar; de igual manera entre Semillas Sin Germinar y Peso Seco se obtuvo un valor de  $r=-0.81$ , de igual forma entre la variable Peso seco y Tasa de Imbibición se encontró un valor de  $r=-0.76$  sugiriendo que mayores tasas de imbibición se asocian con bajos pesos secos de plántula, así mismo entre Peso Inicial y Tasa de imbibición resaltó un valor de  $r=-0.80$  indicando que pesos iniciales de semillas altos se relacionaron con menores tasas de imbibición.

Solamente se reportaron dos correlaciones positivas y significativas, la primera entre Peso Volumétrico y Humedad Inicial con un valor de  $r=0.91$ , y la segunda entre Peso Inicial y Conductividad Eléctrica con un valor de  $r=0.82$ .

Concerniente a los resultados obtenidos en este trabajo y a lo mencionado por Tajbakhsh (2000) respecto a que el aumento en la conductividad se correlaciona con la disminución de la germinación y el vigor de la semilla en varias especies de cultivos, y por otro lado a lo reportado por Zamora *et al.*, (2015) al señalar que existe una alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica, en esta investigación los resultados no estuvieron acorde a lo reportado por ellos.

Ramírez (2016) realizó un trabajo similar al estudiar la Tasa de Imbibición y su relación con la Fisiología de las Semillas en Siete Genotipos de Trigo (*Triticum aestivum*), encontró que la conductividad eléctrica tiene una relación con la calidad o vigor de los genotipos que estudió, debido a que a menor valor de conductividad

eléctrica, se obtuvo una mayor longitud media de plúmula, mayor longitud media de radícula y peso seco; por otro lado Trujillo (2016) al realizar un trabajo donde evaluó la tasa de imbibición y conductividad eléctrica en semilla de cinco genotipos de cebada forrajera y de grano, concluyó que por la alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra.

En este estudio la tasa de imbibición se relacionó negativamente con el peso inicial de la semilla y el peso seco de plántula asentando que los materiales aquí evaluados son genotipos desarrollados para la producción de grano y que se diferencian en varias características de los utilizados para la producción de forraje. También el peso inicial de semilla se relacionó positivamente con la conductividad eléctrica sugiriendo que la semilla más pesada pudiera presentar daño en sus membranas celulares.

Cuadro 4.24 Correlaciones entre variables evaluadas de nueve genotipos de trigo, (PN) Plántulas Normales, (PA) Plántulas Anormales, (SSG) Semillas Sin Germinar, (LMP) Longitud Media de Plúmula, (LMR) Longitud Media de Radícula, (PS) Peso Seco, (TI) Tasa de Imbibición, (CE) Conductividad Eléctrica, (HI) Humedad Inicial, (PV) Peso Volumétrico, (PI) Peso Inicial.

	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS	TI	CE	HI	PV	PI
PN	1.00	<b>-0.72</b>	<b>-0.90</b>	0.09	-0.29	0.65	-0.34	0.12	0.50	0.43	0.07
PA	-0.72	1.00	0.35	-0.03	0.04	-0.11	-0.29	0.27	-0.04	-0.11	0.44
SSG	-0.90	0.35	1.00	-0.11	0.37	<b>-0.81</b>	0.64	-0.32	-0.64	-0.51	-0.37
LMP	0.09	-0.03	-0.11	1.00	0.13	-0.29	0.23	-0.11	0.50	0.33	-0.42
LMR	-0.29	0.04	0.37	0.13	1.00	-0.27	0.56	-0.12	-0.39	-0.30	-0.22
PS	0.65	-0.11	-0.81	-0.29	-0.27	1.00	<b>-0.76</b>	0.62	0.23	0.06	0.66
TI	-0.34	-0.29	0.64	0.23	0.56	-0.76	1.00	-0.58	-0.44	-0.33	<b>-0.80</b>
CE	0.12	0.27	-0.32	-0.11	-0.12	0.62	-0.58	1.00	-0.09	-0.34	<b>0.82</b>
HI	0.50	-0.04	-0.64	0.50	-0.39	0.23	-0.44	-0.09	1.00	<b>0.91</b>	0.00
PV	0.43	-0.11	-0.51	0.33	-0.30	0.06	-0.33	-0.34	0.91	1.00	-0.07
PI	0.07	0.44	-0.37	-0.42	-0.22	0.66	-0.80	0.82	0.00	-0.07	1.00

Mayores a 0.70 y menores a -0.70 son significativas al 0.05 de probabilidad.

## V. CONCLUSIONES

Analizados los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- No se encontró asociación significativa entre la primera fase del proceso de germinación (Tasa de Imbibición) y la respuesta de la Conductividad Eléctrica en los genotipos estudiados, a través del tiempo evaluado.
- Los puntos máximos de tasa de imbibición pueden presentarse antes de alcanzar los puntos máximos de conductividad eléctrica, este suceso se detectó particularmente en los genotipos AN-277-93, AN-121-02 y el genotipo comercial Bacanora.
- Lo anterior, sugiere la existencia de daños en las membranas celulares que no le permite a la semilla regular sus exudados, como fue el caso de AN-277-93 y AN-121-02 debido a la baja calidad fisiológica, mientras que en el comercial Bacanora tuvo mayor velocidad de absorción de agua debido a su alta calidad fisiológica.
- Los genotipos AN-91-98 y AN-547-02 logran su mayor tasa de imbibición en menor tiempo, al menos en 5 h 57 min y 5 h 52 min respectivamente, pero no cuentan con la mejor calidad fisiológica.
- El genotipo AN-390-02 destacó con una respuesta positiva en la Tasa de Imbibición, Conductividad Eléctrica y en su calidad fisiológica, sobretodo en el vigor de LMP.
- Existe una asociación positiva en las variables Peso Inicial y Conductividad Eléctrica entre los genotipos estudiados que se sugiere sea comprobada con más estudios.

- Se recomienda realizar más investigación al respecto, iniciando con 13% de humedad en las semillas de los genotipos que se evalúen, además de considerar lecturas de la temperatura a la sustancia que se utilice para la imbibición de la semilla. Así como partir de un mismo grado de longevidad de los materiales genéticos.

## VI. LITERATURA CITADA

- Álvarez, C.R. 2007. Estadística aplicada a las ciencias de la salud. Ediciones Díaz de Santos. 1030 p.
- AOSA (Association of Official Seed Analysts, US). 1983. Seed vigour testing handbook. Lincoln, USA. AOSA.88 p.
- Artola, A.G.; Carrillo, C. and García, de los S. G. 2003. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci.Tech.* 31:455-463.
- Besnier, R.F. 1989. Semillas. Biología y Tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 637 p.
- Bewley, J.D. and M. Black. 1983. Physiology and Biochemistry of Seeds in relation to germination. Volume 1: Development, germination, and growth. Second edition. Berlin, Germany. Springer-Verlag.306 p.
- Bradford, J. and Nonogaky, H. 2007. Seed development, dormancy and germination. Blackwellpublishing, oxford, UK, 307 pp.
- Burgas, R. and Powell, A. 1984.Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. *Ann. Bot.* 53:753-757.
- Camacho, M.F. 1994. Dormición de semillas: Causas y tratamientos. Editorial Trillas, México, D.F. 124 p.
- Candolle A. 1896. Origine es Plantes cultivées. FelixAlcan. Paris.
- CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 2004. Seeds of Innovation: CIMMYT's Strategy for helping to Reduce Poverty and Hunger by 2020. México, DF: CIMMYT, p. 6.
- De la cuadra, C. 1993. Germinación, latencia y dormición de las semillas. Ministerio de agricultura pesca y alimentacion, España. Pag. 4.
- Derek, J.B., and Black, M., 1994. Seeds: physiology of development and germination. Plenum Publishing Corporation. Springer Street, New York.

- Dominguez S., Dominguez A., Gonzales A., Navarro S. 2007. Cinética de imbibición e isotermas de adsorción de humedad de la semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). Revista Mexicana de Ingeniería Química. 6(3):309-316
- Evenari, M. 1957. Les problèmes physiologiques de la germination. Bull. Sot. Franc. Physiol. Vtg. 3, 105-124.
- Hampton, J.G., Tekrony, D.M. 1995. Handbook of vigour test methods. 3 ed. Zurich, Suiza. The International Seed Testing Association. 117 p.
- Hartman, H.T y Kaster D.E. 199. Propagación de plantas 2a. Edición, Editorial CECSA. México. 138-140 pag.
- International Seed Testing Association (ISTA) 2003. ISTA Flower Seed Testing Workshop. 12-16 May, 2003, Budapest (Hungary).
- López, R. G. F. 2005. Ecofisiología de árboles. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 218-221.
- Filho, M.J., Cícero, S.M., Silva, W. R. 1987. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba, San Pablo. Brasil. Fealq. 230 p.
- Montejo, L.A., Sanchez J.A., Muñoz B. 2002. Incremento de la germinación en semillas de Fruta Bomba por aplicación de tratamientos pregerminativos e hidratación-deshidratación. Cultivos Tropicales. Vol 23. No 4. Pag. 27-31.
- Moreno, M.E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas 3ra. Edición. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. pp. 393.
- Pérez M.C., Carrillo C.G., & Vidal Lezama, E., & Ortiz García, E. 2016. Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7 (7), 1765-1773.
- Plana, R., Álvarez, M. y Varela, M. Evaluación de una colección del género *Triticum*: trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittmack) en las condiciones del occidente de Cuba. Cultivos Tropicales, 2006, vol. 27, no. 4, p. 49-52.

- Purcell E.J., Varbevg D., Rigdon S. 2007. Cálculo diferencial e integral. Pearson Educación, México, 520p.
- Ramírez Mejía J.L. 2016. Tasa de Imbibición y su relación con la Fisiología de las Semillas en Siete Genotipos de Trigo (*Triticum aestivum*) (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Robles, S.R., 1990. Producción de granos y forrajes. 5ª edición editorial limusa S.A de C.V México.
- Sánchez, M.J., Padilla G.J., Sandoval, I.E., Arellano, R.L., Avendaño., y Gómez, C.S. 2006. Terminología de semillas. Departamento de Producción Agrícola – División de Ciencias Agronómicas. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Ed. Prometeo Editores. Guadalajara, Jalisco, México. 1440 pág.
- Sánchez, M.J., Hernández, A., Peña, A. y Carballo, C. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. Agric. Téc. Méx. 33:115-123.
- Schmidt D.H. And Tracy W. F. 1989. Duration of imbibitions affects seed leachate conductivity in sweet corn. Hort. Sci. Vol. 24. 346-347.
- Taiz, L. Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 764 pp
- Tajbakhsh, M. 2000. Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (Viability and vigour) in Omid wheat. J. Agr. Set. Tech. 2: 67-71.
- Thompson. J.R. 1979. An introduction to Seed Technology. Leonard Hill. London. 252 p.
- Wilson, J.R.D. 1992. A unified approach to interpretation of single seed conductivity data. Seed Science and Technology 20: 155-163.
- Zambello de Pinho, S.; L.R. de Carvalho e M.E. Aparecida Delachiave. 2004. Limit between stages I and II of a seed imbibition curve. Sci. Agric. 61 (1): 17-20.
- Zamora V.V., Valdez H.M., Torres T.M., Colín R.M y Jaramillo S.M. 2015. Conductividad eléctrica y tasa de imbibición de semillas de trigos forrajeros. Compendio Investigativo de Academia journals, pag 62-14 – 62-18.

CIMMYT. 2016. Investigación sobre trigo | CIMMYT. International Maize and Wheat Improvement Center. Retrieved December 5, 2017, from <http://www.cimmyt.org/es/investigacion-sobre-trigo/>

SAGARPA. 2017. Se incrementa producción de trigo “Hecho en México” 14.6 en 2016. En línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/zacatecas/boletines/Paginas/2017B102M.aspx#>

SAGARPA. 2017. Los principales países productores de trigo en el mundo 2017/2018. En línea: <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/mapasTablero/principalesProductoresTrigoC.php>.

SNICS. 2014. Regla para la clasificación de semilla de avena, cebada, centeno, trigo y triticale. En línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172406/Cereales.pdf>